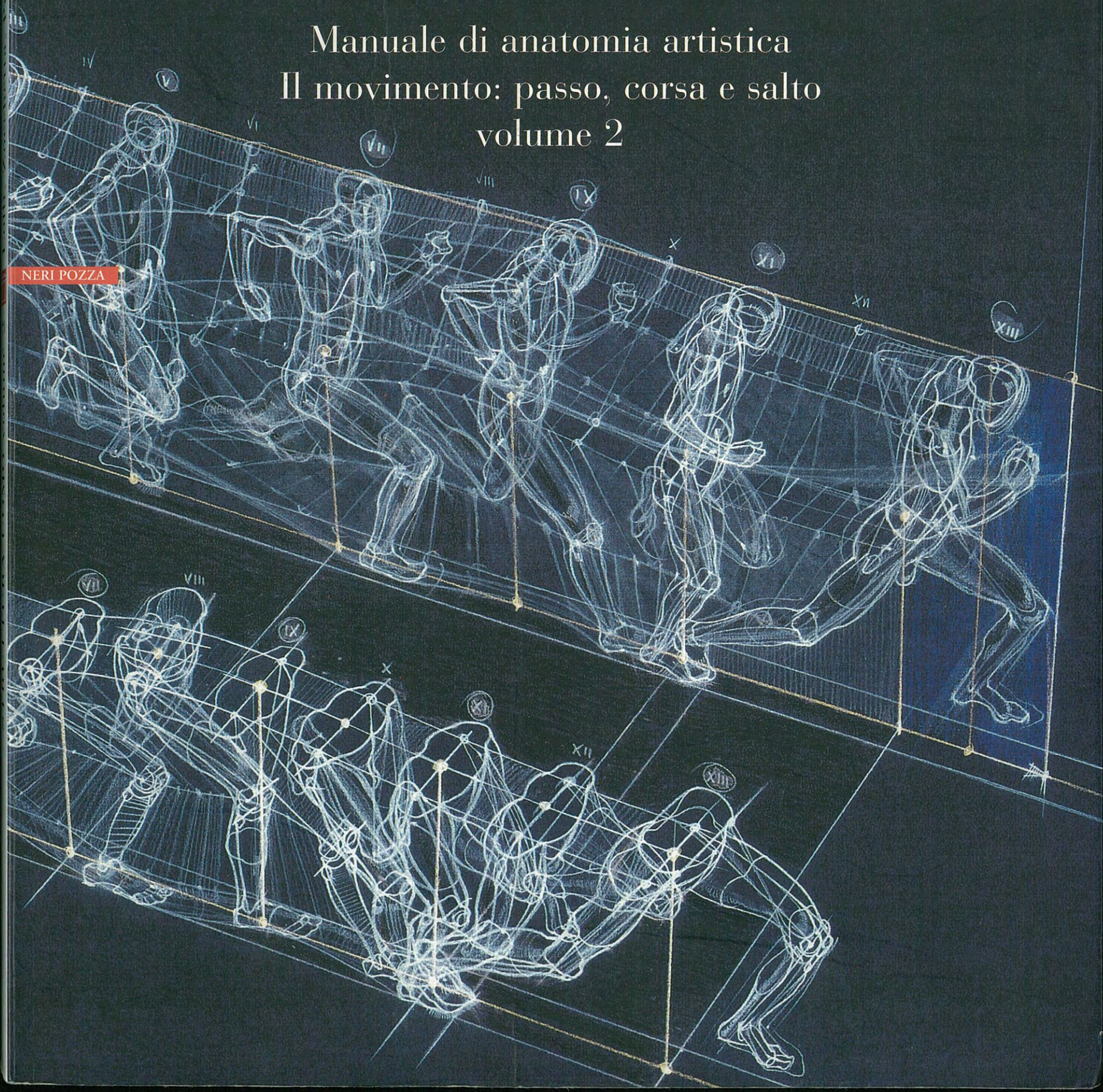
STRUTTURA UOMO

Manuale di anatomia artistica
Il movimento: passo, corsa e salto
volume 2

NERI POZZA

STRUTTURA UOMO

Manuale di anatomia artistica

Il movimento: passo, corsa e salto

vol. 2

Disegni e testi di
Alberto Lolli, Mauro Zocchetta, Renzo Peretti

NERI POZZA EDITORE

"La linea geometrica è un'entità invisibile. È la traccia del punto in movimento, dunque un suo prodotto. Nasce dal movimento – e precisamente dalla distruzione del punto, della sua quiete estrema, in sé conchiusa. Qui si compie il salto dallo statico al dinamico".

Wassily Kandinsky

Si ringraziano per la preziosa collaborazione:
Antonio Pedotti e Giuseppe Andreoni, Centro di Bioingegneria del Politecnico di Milano
Walter Bragagnolo e Paolo Olivato, I.S.E.F. di Verona
Juan Carlos Battilani, Luigi Bisinelli, Daniele Cerchiari, Chiara Cocco, Angelo Colla

Realizzazione editoriale: Studio Venturini s.r.l.

ISBN 88-7305-796-9

Il nostro indirizzo internet è: www.neripozza.it

INTRODUZIONE

Il favore con cui è stato accolto, in ambienti scolastici e professionali, il nostro primo manuale di anatomia artistica dedicato alla costruzione della figura umana (*Struttura uomo*, vol. I), ci ha indotto a produrre, su quella stessa linea, quest'altro strumento didattico. Esso è frutto di una lunga esperienza di studio e di rappresentazione dei processi dinamici di un corpo in movimento da noi condotti con metodi e tecniche nuove che, tuttavia, non prescindono da illustri precedenti storici quali, per esempio, gli studi fotografici e cronofotografici di E. Muybridge e J.E. Marey, o dalle recenti ricerche come quelle del Centro di Bioingegneria del Politecnico di Milano, che già avevano considerato le performance dinamiche della figura umana analizzandole sia in sequenze isolate di immagini periodiche e sia nell'immagine complessa corrispondente al tempo del moto reale.
Il metodo di coniugare i risultati della moderna ricerca scientifica con l'esperienza della rappresentazione artistica e di sposare la teoria alla pratica, che applichiamo in questo libro, ci consente di osservare e di rappresentare da ogni punto di vista, con immagini bidimensionali e tridimensionali, tutte le fasi del processo di traslazione di un corpo da un punto all'altro dello spazio nei movimenti fondamentali del passo, della corsa e del salto.
Per rendere la complessità del moto ciclico alternato che interessa i vari elementi del corpo umano in traslazione, e per permettere di comprendere anche le variazioni di velocità del loro spostamento in altezza, lunghezza e profondità, gli elementi della struttura scheletrica e del sistema muscolare sono qui considerati come semplici segmenti e piani sui quali si individuano i punti, le linee e le superfici corrispondenti ai centri articolari che collegano le strutture e le regioni anatomiche attivate nel corso dei diversi cicli dinamici. Del resto solo il riferimento a linee e piani di diversione permette di visualizzare la varietà delle condizioni di equilibrio e di oscillazione della figura umana in movimento, mentre i piani di sezione consentono di valutare con esattezza gli spostamenti nei movimenti di rotazione trasversali.
Da ultimo, lo sviluppo di piani e volumi, originati dalla traslazione nello spazio dei punti e delle linee corrispondenti ai "luoghi" salienti del corpo in movimento, dà forma alla scia dinamica del gesto cinetico, per cui il corpo umano, nell'incedere delle sue cadenze ritmiche, finisce per modellare lo spazio e dar vita a una sorta di architettura in divenire, dinamica e trasparente.

L'EQUILIBRIO DEL CORPO

La condizione di equilibrio del corpo umano è sottoposta all'influenza della forza di gravità. Essa si esercita su ogni parte del corpo ma, nel suo insieme, agisce direttamente sul suo centro di gravità o baricentro.
Il baricentro di un corpo, o di un insieme di corpi, è il punto, appartenente o meno al corpo, nel quale si può pensare applicata la risultante delle forze peso costituenti il sistema; esso coincide praticamente con il centro di massa.
Mentre in un corpo solido il baricentro è un punto fisso e determinato che non varia la sua posizione, nel corpo umano, costituito da un sistema articolato di segmenti o "corpi", esso muta di posizione con il cambiare delle posture, e in certi casi (per esempio in alcuni tipi di salto) può trovarsi fuori dal corpo (Tav. II, Fig. D).
Infatti, poiché tutti i segmenti del corpo – piede, gamba, coscia, regioni del tronco (bassa, media, alta), testa, spalla, avambraccio, mano – sono dotati di un centro di massa, che chiameremo baricentro parziale, sarà evidente che al mutare della distanza e della relazione fra i baricentri parziali varierà anche la collocazione del baricentro di tutto il corpo, che possiamo definire baricentro generale.
Inoltre, poiché il corpo è in equilibrio quando la linea di gravità che origina dal baricentro incontra il suolo entro i limiti della sua base di sostegno, proviamo ora ad analizzare il comportamento dell'equilibrio del corpo nelle varie posizioni che esso può assumere.
Nella stazione eretta simmetrica il baricentro generale, cioè il centro delle masse del corpo, è posto in corrispondenza della regione bassa del tronco, in un punto compreso tra la IV vertebra lombare e la II vertebra sacrale, che per convenzione si può identificare con il promontorio del sacro; mentre la linea di gravità, o piombo, parte dalla testa e, attraversandolo, incrocia il suolo al centro della base dei piedi.
La stazione eretta (Tav. I, Fig. A) costituisce una condizione ideale del corpo umano poiché assicura l'equilibrio di tutte le masse del corpo, dalla testa ai piedi, e può essere mantenuta anche a lungo con un esiguo sforzo muscolare.
In posizione eretta un corpo oscillante in avanti, lateralmente o all'indietro si mantiene in equilibrio senza cadere fintanto che la sua verticale, dal promontorio del sacro al suolo, cade all'interno dell'area individuata dalla base dei piedi. È ovvio, tuttavia, che nel caso di oscillazione la conservazione dell'equilibrio comporta uno sforzo muscolare che aumenta nel tempo perché, per evitare la caduta, si dovranno spostare i segmenti medi e superiori del tronco, e la testa, in modo da modificare l'assetto del baricentro generale per consentire alla verticale di cadere dentro l'area di appoggio al suolo (Fig. B).

Tav. I

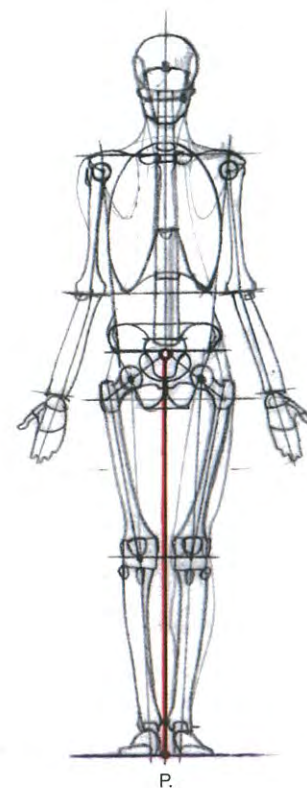
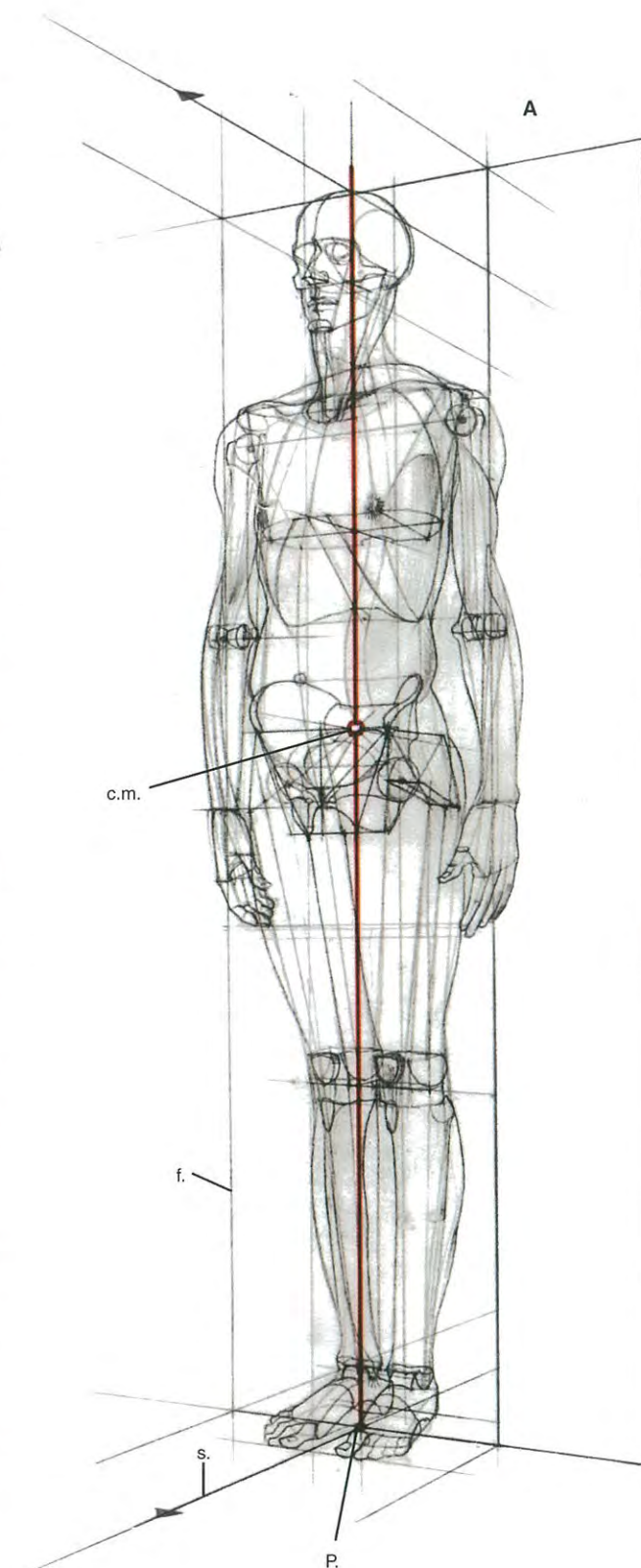



Fig. A
Stazione eretta simmetrica.
c.m. centro di massa o baricentro di equilibrio del corpo umano, promontorio dell'osso sacro
P. piombo o linea di gravità
f. piano frontale
s. linea sagittale

Fig. B
Nella figura in blu il corpo si inclina in avanti e all'indietro, in una condizione di possibile caduta (P'); nella figura in rosso il corpo recupera la condizione di equilibrio mediante lo spostamento dei segmenti medi e alti del tronco, che modifica la posizione del baricentro fino a far cadere la linea di gravità di nuovo all'interno della base di appoggio dei piedi (P").

Fig. C
Rilevamento della posizione del baricentro (in colore giallo) nel movimento di estensione e flessione.
Stick diagram elaborato dal Centro di Bioingegneria del Politecnico di Milano.

B

c.m.

c.m.

c.m.

P'.

P'.

P".

P.

P".

Tav. II

Situazioni del baricentro in alcuni movimenti del corpo.

Fig. D
Salto mortale all'indietro
come esempio di baricentro
situato fuori dal corpo.

L'AVANZAMENTO DEL CORPO

IL PASSO

Principi generali

Una delle funzioni caratteristiche dei vertebrati superiori e dell'uomo è la capacità di deambulare, cioè di spostarsi nello spazio per mezzo di movimenti altamente automatizzati che coinvolgono tutte le componenti della struttura corporea e l'intero apparato muscolare.
La modalità fondamentale e basilare della deambulazione nell'uomo è costituita dall'andatura del passo, che consente di spostare l'intero corpo in avanti senza che uno dei due piedi perda contatto con il terreno.
Il sistema meccanico che sovrintende al moto di avanzamento del corpo nel passo è attivo già nella postura della stazione eretta simmetrica (Tav. I, Fig. A). L'equilibrio statico, obiettivo di tale postura, è infatti ottenuto e mantenuto in modo tanto precario che è sufficiente una minima contrazione dell'apparato muscolare per spostare la proiezione del baricentro, cioè la verticale o l'appiombo del corpo, fuori dal poligono d'appoggio dei piedi, e creare le condizioni di squilibrio e di "potenziale caduta" che solo l'avanzamento dell'arto inferiore momentaneamente sgravato di peso riesce a evitare ristabilendo la condizione di equilibrio (Figg. B, C).
La facilità di spostamento della massa corporea nello spazio è connessa proprio alla estrema precarietà della stazione eretta. Nell'andatura del passo la spinta di uno dei due arti inferiori determina l'avanzamento del baricentro del corpo e l'appoggio precario sull'altro con conseguente pericolo di caduta, la quale è evitata riportando in avanti l'arto che aveva prodotto la spinta iniziale. Il passo è dunque un movimento ripetitivo e ritmico secondo il quale ciascuno degli arti inferiori si trova in una posizione finale analoga a quella iniziale del movimento.
Nell'andatura del passo il peso del tronco è sostenuto in equilibrio alternativamente da uno dei due arti inferiori (Tav. II), che in questa funzione è detto arto portante, mentre l'altro è chiamato arto oscillante. Solo in una breve fase intermedia il tronco è sorretto da entrambi gli arti.

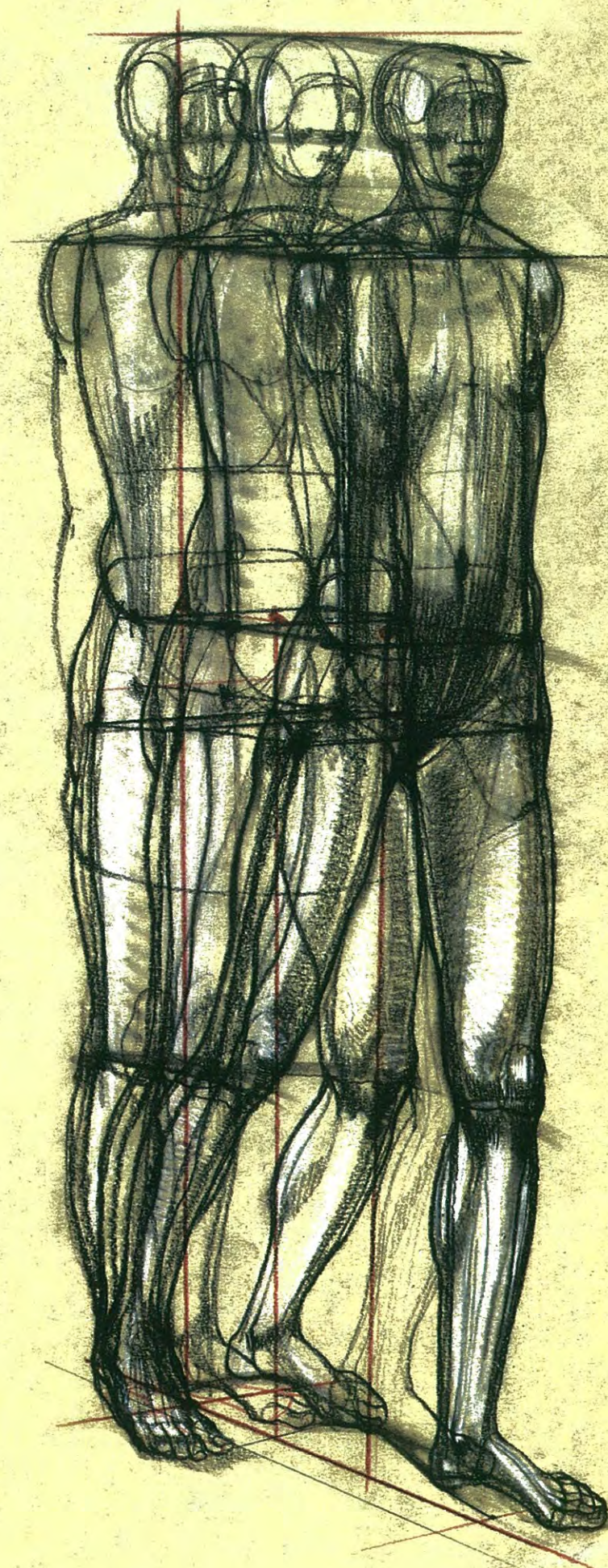
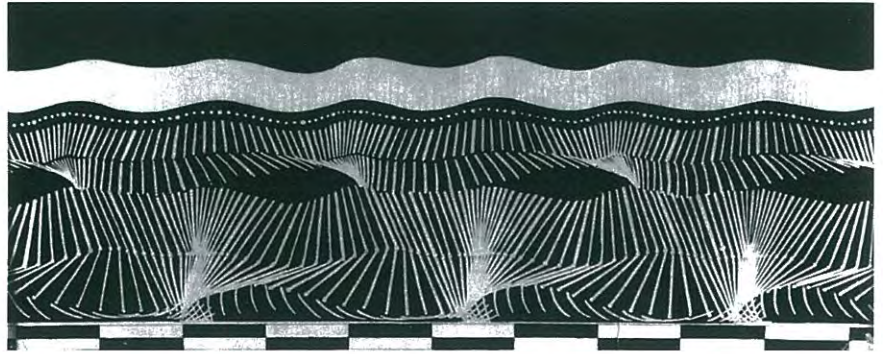
Tav. I

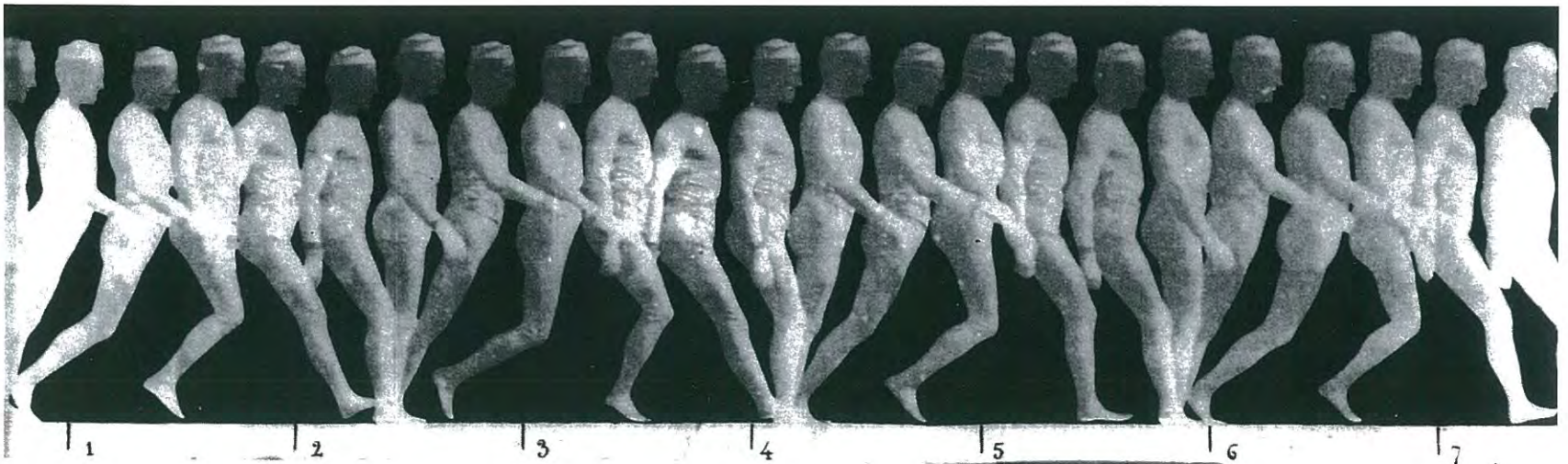
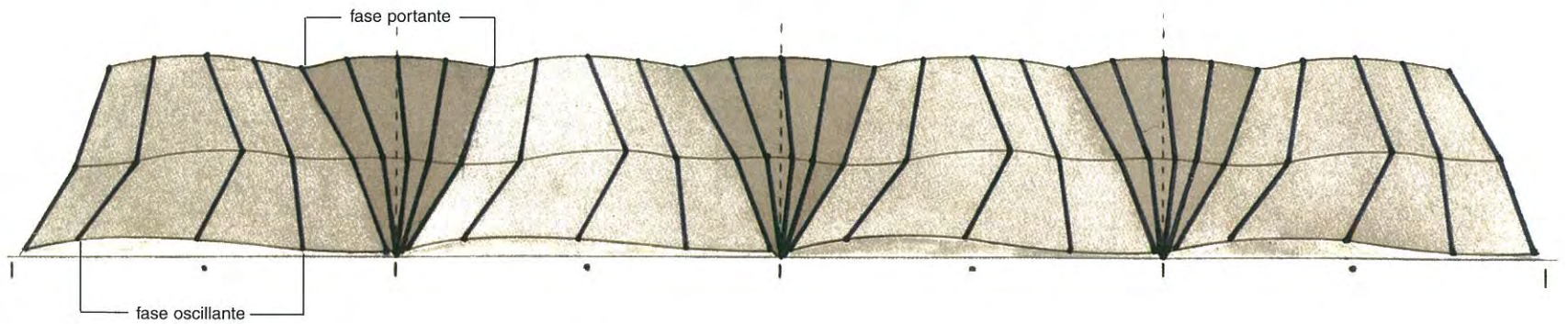
A B
P.
I II
a.
c.m.
b.
P.
P. P'.

Fig. A
Visione laterale del corpo umano in stazione eretta simmetrica.
P. piombo o linea di gravità
a. centro della testa
c.m. centro di massa del corpo, e punto da cui si può tracciare al suolo la linea di gravità del corpo
b. punto di caduta del piombo o della linea di gravità all'interno della base del piede

E.-J. Marey, *Cammino*, 1882. Collège de France, Paris.

Fig. B
Inizio della fase di sbilanciamento del corpo in avanti. La linea di gravità cade sull'avampiede.
I. stazione eretta simmetrica
II. fase di disequilibrio
P'. proiezione del baricentro sull'avampiede

Fig. C
Avanzamento dell'arto: fase di preparazione di un nuovo appoggio.
III. spostamento in avanti dell'arto sinistro
P". la linea di gravità del corpo cade fuori dell'appoggio del piede, e lo sbilancia in avanti
s. arto sinistro

Questa condizione del doppio appoggio è la caratteristica del cammino bipedale. Esso si differenzia dalla corsa, nella quale c'è invece una fase di sospensione.
La sequenza tipica del passo è dunque così articolata: spinta, caduta, arresto della caduta, spinta. Essa genera una successione di accelerazioni e rallentamenti, di innalzamenti e abbassamenti del centro di gravità del corpo che si configurano come un movimento ritmico ondulatorio.

Etienne-Jules Marey, *Studio cronofotografico del cammino umano. Uomo in costume nero ricoperto di linee e punti bianchi.* Sono evidenziati gli arti destri, 1886. Beaune Musée E.J. Marey et des Beaux-Arts.

A

E.-J. Marey, *Uomo che cammina in costume bianco con l'arto sinistro dipinto in nero,* 1886. Beaune Musée E.J. Marey et des Beaux-Arts.

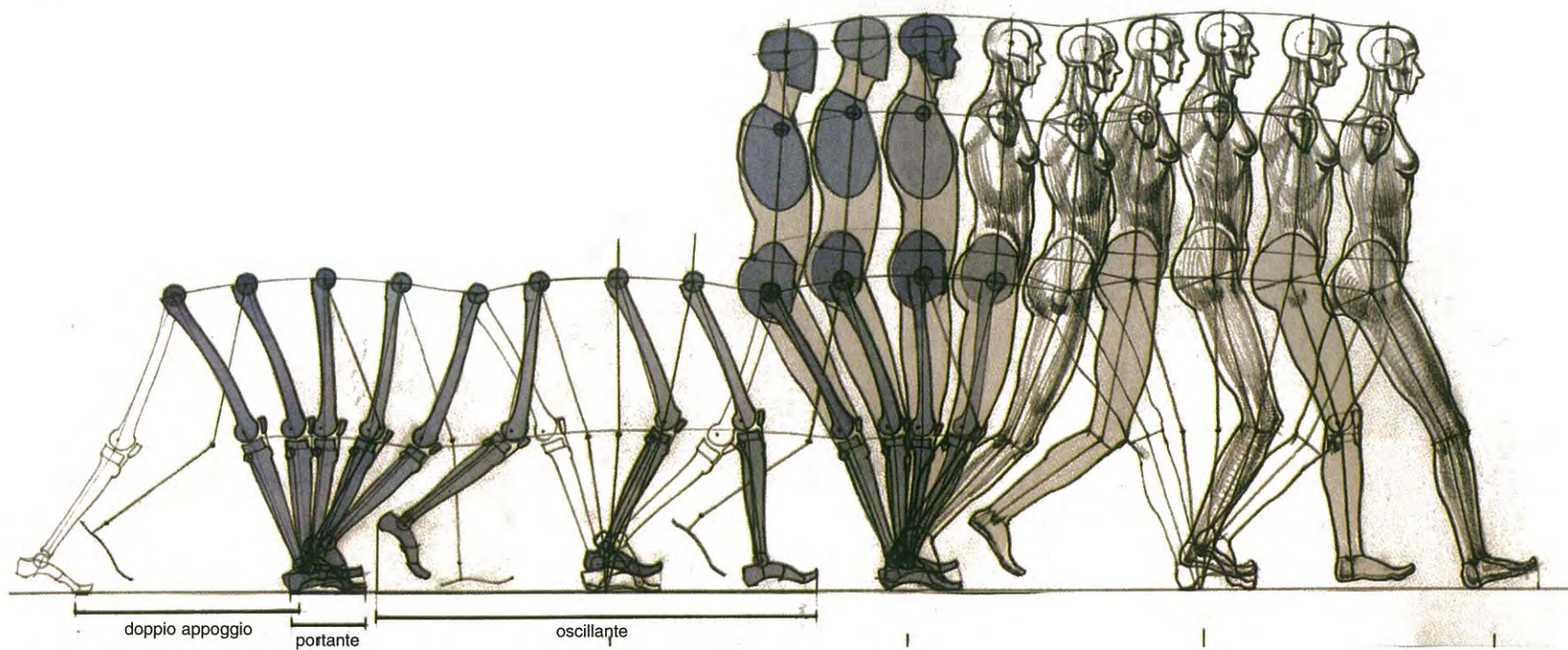
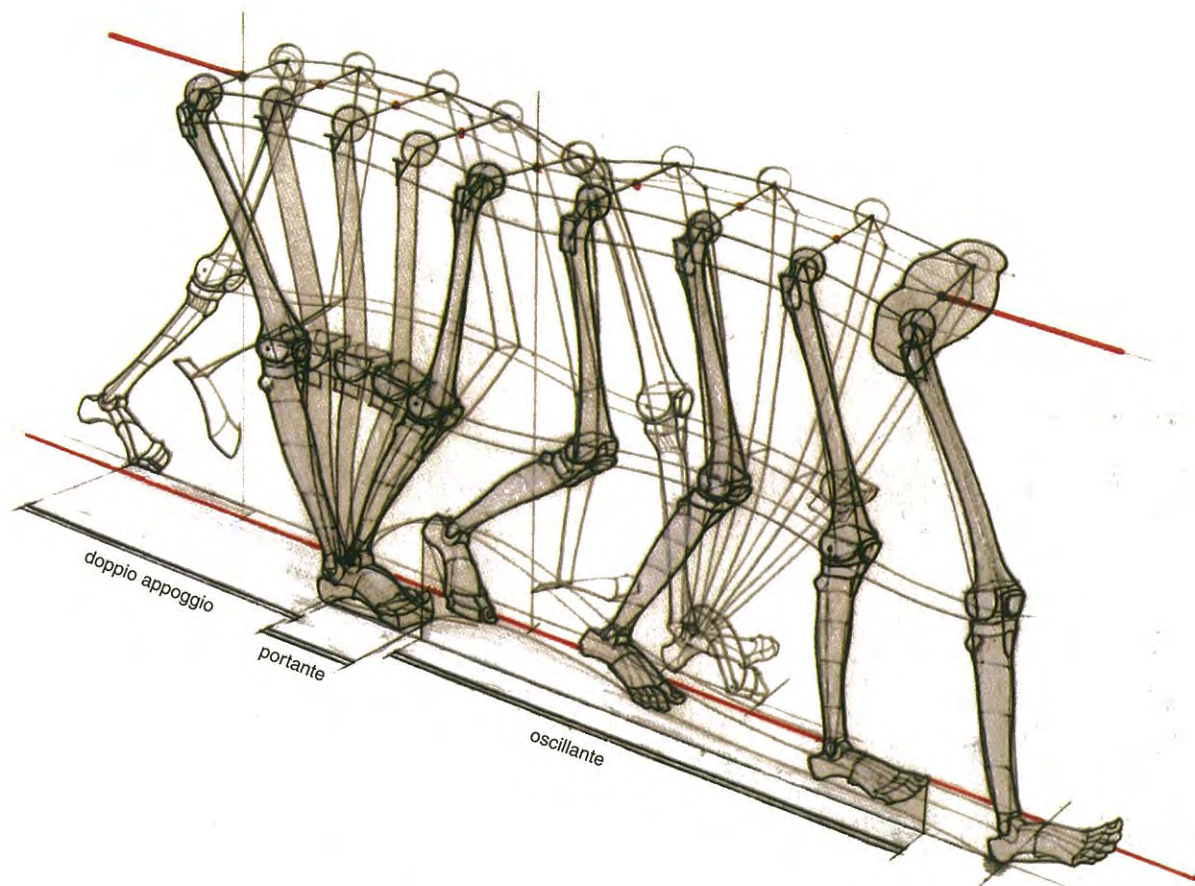
B

C

Fig. A
Andamento dell'arto inferiore destro nella fase portante e oscillante del passo in rapporto alla cronofotografia di E.J. Marey.

Figg. B, C
Andamento dello scheletro degli arti inferiori nel passo.

ARTO PORTANTE E ARTO OSCILLANTE

Analizziamo ora il comportamento dei segmenti scheletrici dell'arto inferiore (coscia, gamba, piede) nelle funzioni di arto portante e arto oscillante (Tav. I, Figg. A, B).
La visione laterale dello scheletro ci consente di evidenziare una prima sequenza di movimenti dell'andatura al passo: dall'appoggio del primo tallone all'appoggio del secondo, o semipasso (Tav. I, Fig. B). Il ciclo intero, invece, va dal primo al secondo impatto dello stesso tallone sul suolo (Tav. II, Fig. A).
La fase iniziale di questa sequenza di appoggio al suolo del tallone può essere definita come fase di doppio appoggio poiché entrambi gli arti, anche se con funzioni diverse, sono a contatto con il terreno.

Fase I: doppio appoggio (Tav. I, Fig. B)
L'arto destro, in precedenza oscillante, inizia la sua fase di sostegno del tronco detta di arto portante e con il piede entra in contatto con il terreno mediante l'appoggio al suolo del tallone; il piede in contatto è inclinato in avanti e in alto rispetto al piano orizzontale di circa 30°, e ammortizza la spinta dell'intero peso del corpo, che grava ora tutto sull'arto a terra. Il piede sinistro è in piena fase di spinta in avanti del corpo e appoggia ancora al suolo con l'avampiede, gravando sulla testa del primo osso metatarsale e sull'alluce in flessione dorsale. Il contatto dell'alluce con il suolo permette di controllare la direzione della spinta che sposta l'equilibrio del corpo sull'altro arto, ora in fase di arto portante. Questo spostamento del peso sgrava l'arto sinistro da compiti di sostegno agevolando lo stacco dal terreno che porterà l'arto alla sua fase di oscillazione. Il piede nella fase di stacco è ora inclinato in avanti e in basso di circa 60°.

Fasi II e III: pieno appoggio (Tav. I, Fig. B)
L'arto destro sopporta ora da solo il carico del peso del corpo e il piede si porta in pieno appoggio aderendo al suolo con tutto il suo margine laterale. Questo movimento "schiaccia" a terra il piede ed è dovuto alla velocità di spinta verso il suolo che, trasmessa dai segmenti scheletrici dell'arto inferiore, agisce sull'articolazione gamba-piede.
Dato che il punto di articolazione è situato a circa un terzo della lunghezza del piede, questo crea un buon braccio di leva rispetto al tallone il quale, operando da fulcro, diventa il perno di questo movimento.
Il contatto orizzontale del piede con il terreno provoca una traslazione in avanti del bacino e del tronco, che trascinano i segmenti della coscia e della gamba in avanti rispetto al piede. Questo movimento, a sua volta, sposta l'arto inferiore e il tronco in avanti, fino ad allinearli lungo l'asse verticale che cade in corrispondenza dell'articolazione tibio-tarsica (Fase III).
L'arto sinistro, perdendo il ruolo di sostegno e grazie alla spinta esercitata in precedenza (Fase I), può portarsi in avanti. Ciò avviene grazie alla flessione della coscia e del ginocchio che, accorciando l'estensione dell'arto, gli permettono di avanzare senza toccare il terreno. Questo moto, detto di oscillazione, non è quindi un movimento pendolare inerziale dovuto solo alla spinta, poiché esso è costantemente controllato dall'apparato muscolare. Se fosse soltanto un movimento passivo dovuto all'inerzia della spinta a mettere in moto il pendolo, cioè la gamba, questa dovrebbe precedere la coscia. Nella Fase III osserviamo come l'arto oscillante raggiunga e oltrepassi con il ginocchio l'arto portante (passaggio dalla verticale) portandosi così da posteriore ad anteriore, precedendo l'arto portante e predisponendosi al nuovo appoggio in modo da toccare il suolo avanti a questo.
La fase di oscillazione può essere così divisa in due momenti successivi: di sospensione posteriore fino al passaggio dalla verticale dell'arto (Fase II) e di sospensione anteriore fino all'appoggio con il tallone (Fase IV).

Fase IV: pressione e spinta (Tav. I, Fig. B)
L'arto destro in verticale, assecondando il movimento pro-

Tav. I

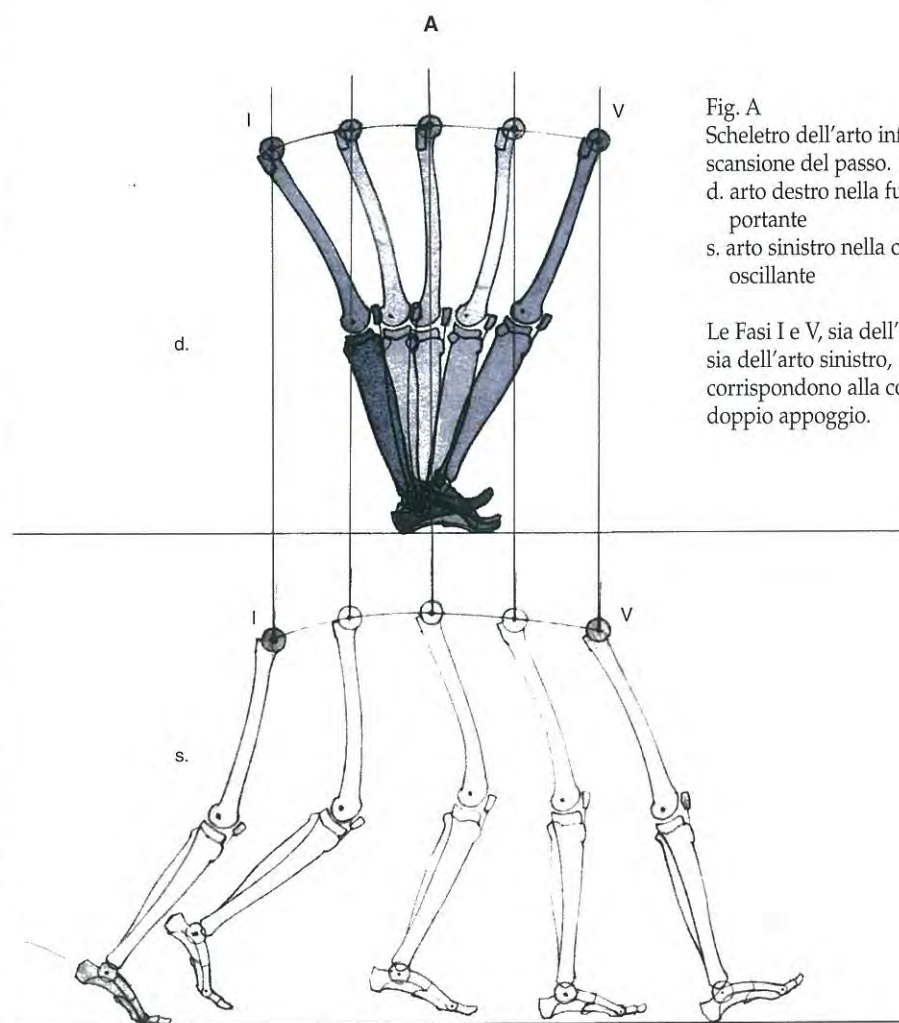



Fig. A
Scheletro dell'arto inferiore nella scansione del passo.
d. arto destro nella funzione portante
s. arto sinistro nella condizione oscillante

Le Fasi I e V, sia dell'arto destro sia dell'arto sinistro, corrispondono alla condizione di doppio appoggio.

Fig. B
Lo scheletro dell'arto inferiore nella scansione del passo, dal doppio appoggio sinistro e destro al successivo doppio appoggio destro e sinistro.

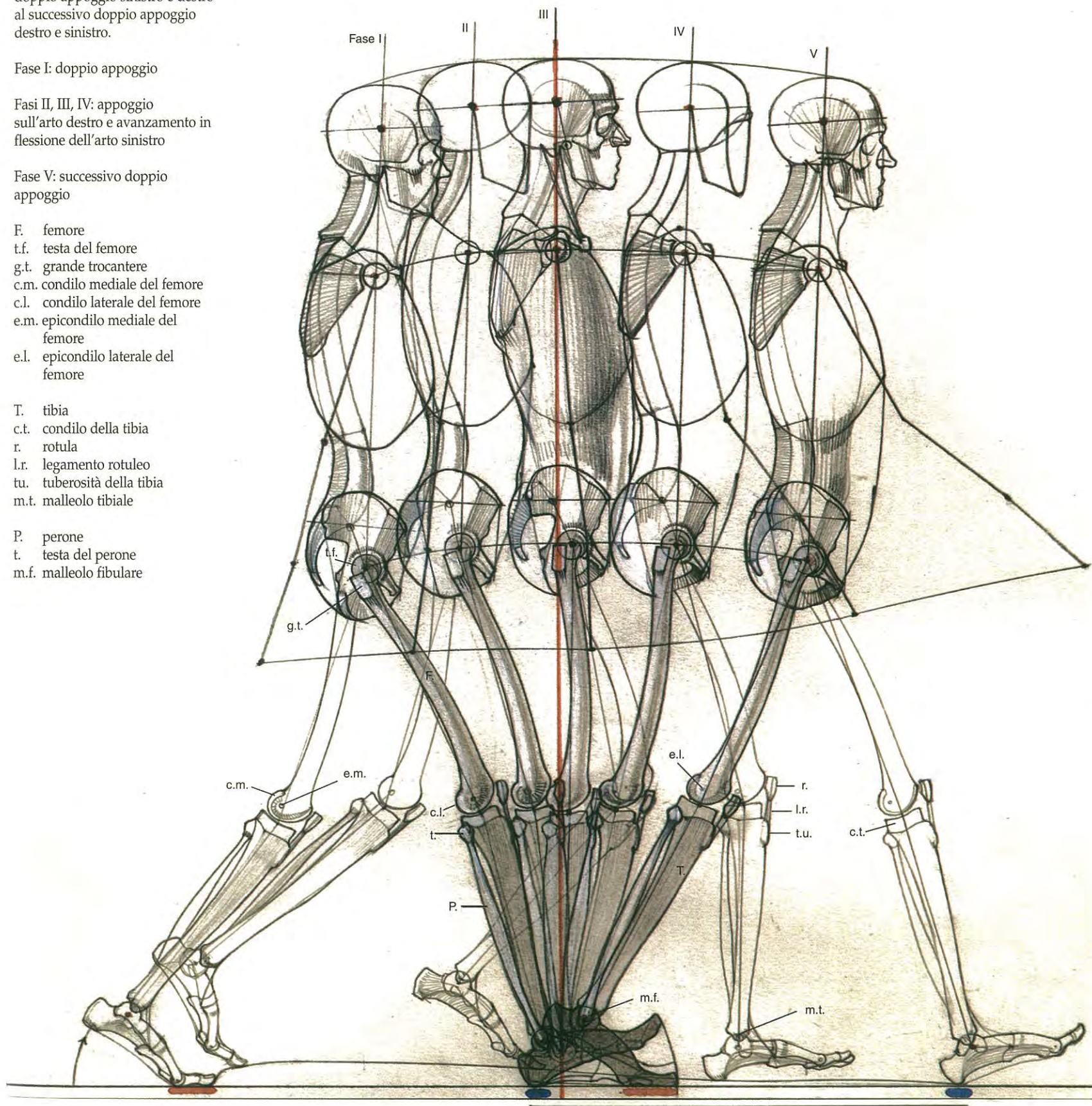
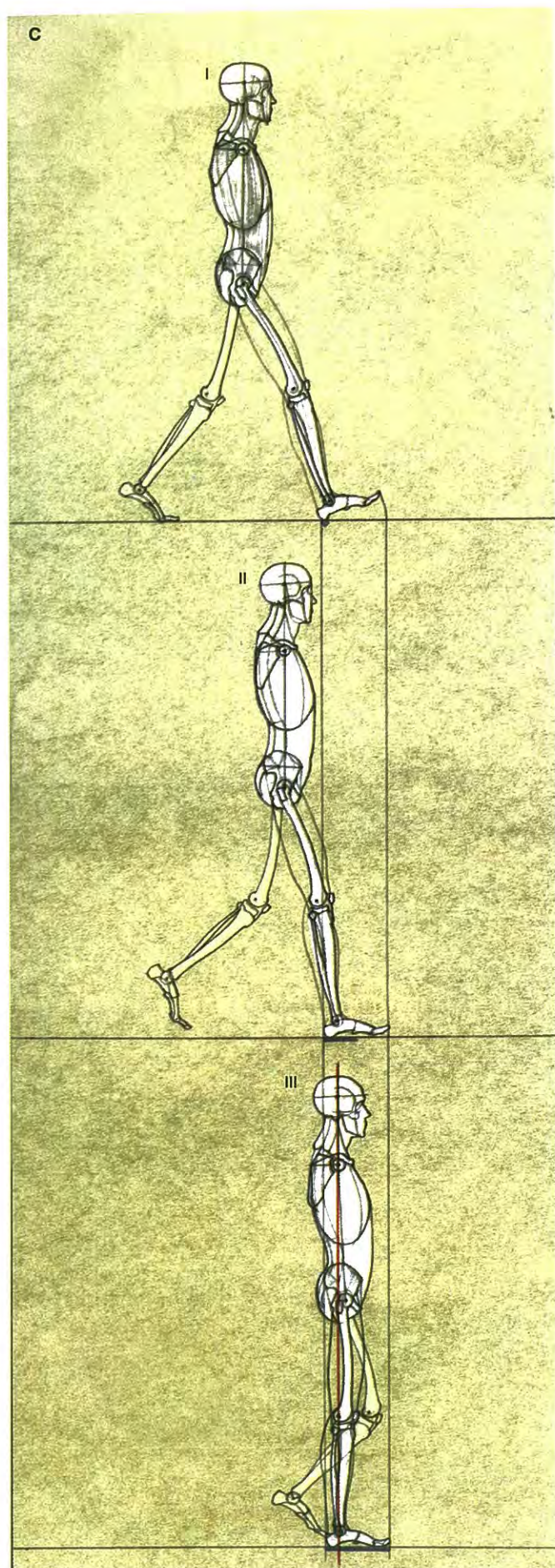
Fase I: doppio appoggio

Fasi II, III, IV: appoggio sull'arto destro e avanzamento in flessione dell'arto sinistro

Fase V: successivo doppio appoggio

F. femore
t.f. testa del femore
g.t. grande trocantere
c.m. condilo mediale del femore
c.l. condilo laterale del femore
e.m. epicondilo mediale del femore
e.l. epicondilo laterale del femore

T. tibia
c.t. condilo della tibia
r. rotula
l.r. legamento rotuleo
tu. tuberosità della tibia
m.t. malleolo tibiale

P. perone
t. testa del perone
m.f. malleolo fibulare

gressivo di avanzamento del tronco rispetto al piede, si inclina in avanti causando un movimento di rotazione del piede. Ciò sbilancia il corpo in avanti e costringe il tallone a sollevarsi; questa perdita di aderenza al suolo della parte posteriore del piede induce a fare leva sull'avampiede nella regione delle teste dei metatarsali e dei cuscinetti plantari delle dita del piede iniziando così, con il contributo dei muscoli flessori posteriori della gamba e dei flessori plantari del piede, la fase di pressione al suolo e spinta in avanti del corpo.

Occorre aggiungere che in questa fase la rotazione del piede dal bordo laterale all'alluce aggiunge alla spinta in avanti del corpo una componente di direzione mediale che permette il passaggio del carico dall'arto destro all'arto sinistro, permettendo così all'arto portante destro di staccarsi da terra senza difficoltà. L'arto sinistro, infatti, in questa ultima fase di oscillazione, prepara il nuovo appoggio al suolo con il tallone. Di conseguenza il segmento della gamba, che era in flessione (Fase III), si porta in estensione sotto il controllo dei muscoli estensori della coscia, e il piede, sfiorando il terreno, raggiungerà una posizione orizzontale nel momento in cui, passando al di sotto dell'articolazione del ginocchio, la gamba si trova in verticale.

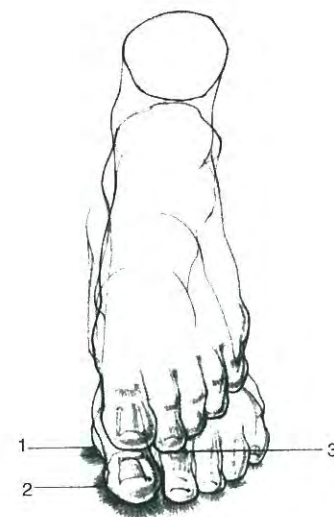
È il momento che precede la quasi totale estensione dell'arto inferiore, che si predispone al nuovo impatto con il terreno.

Fase V: nuovo doppio appoggio (Tav. I, Fig. B)

La sequenza si chiude e incomincia un nuovo ciclo con lo scambio di appoggio dei piedi: il destro in fase di spinta termina la sua funzione portante e la cede al sinistro (Tav. II, Fig. A, Fasi V, VI, VII, VIII).

Fig. C
I. doppio appoggio con spinta del piede sinistro.

II. graduale e completo appoggio sul piede destro. Flessione dell'arto sinistro con sollevamento del piede.

III. allineamento del tronco sull'arto destro nella fase in cui tutto il peso del corpo grava sul piede portante, e avanzamento oscillante dell'arto sinistro.

1-2. spinta graduale sul suolo dai metatarsali all'alluce
3. sollevamento del piede da terra

Tav. II

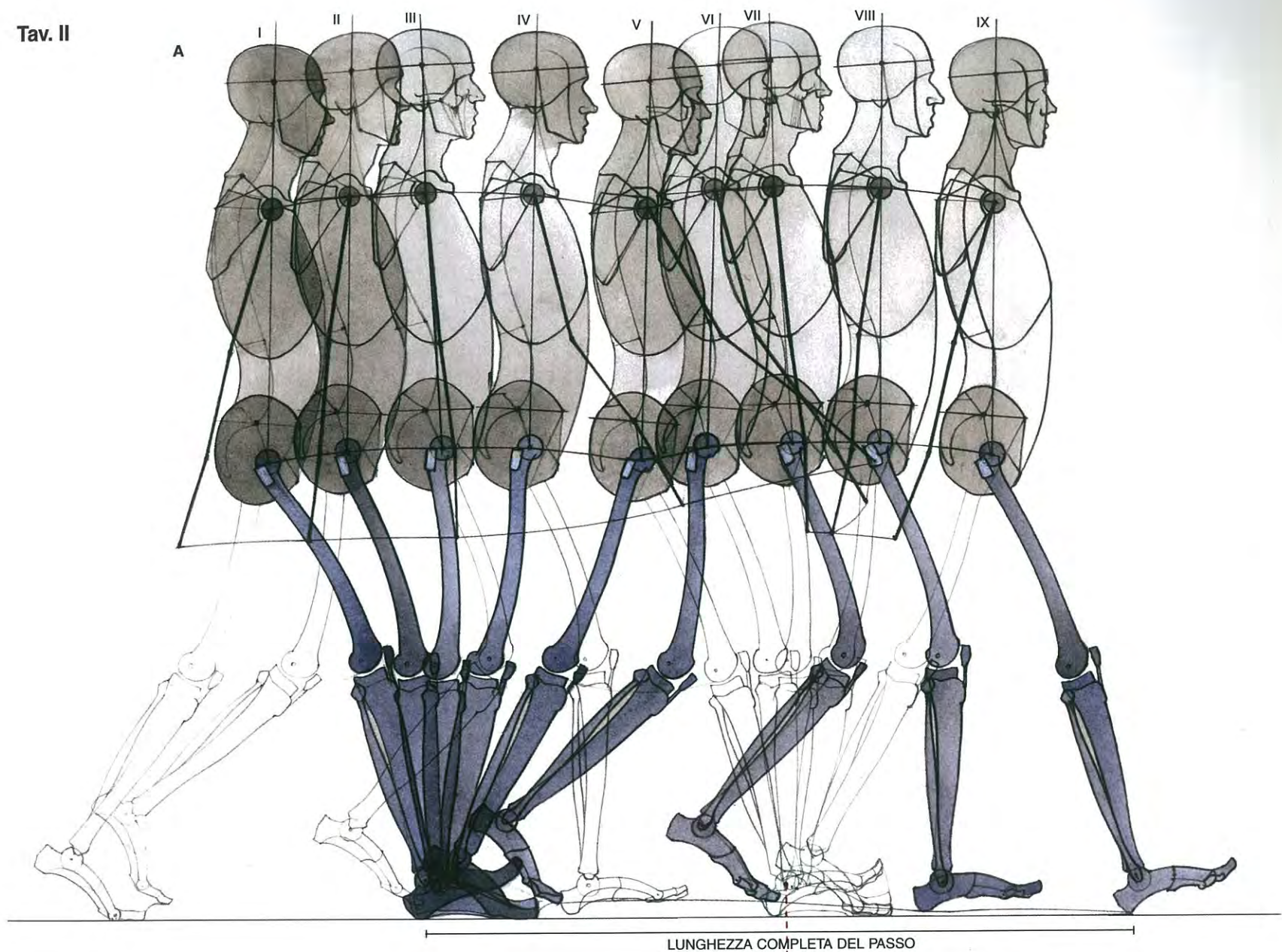



Fig. A
Ciclo intero del passo: arto destro in grigio, arto sinistro in chiaro.

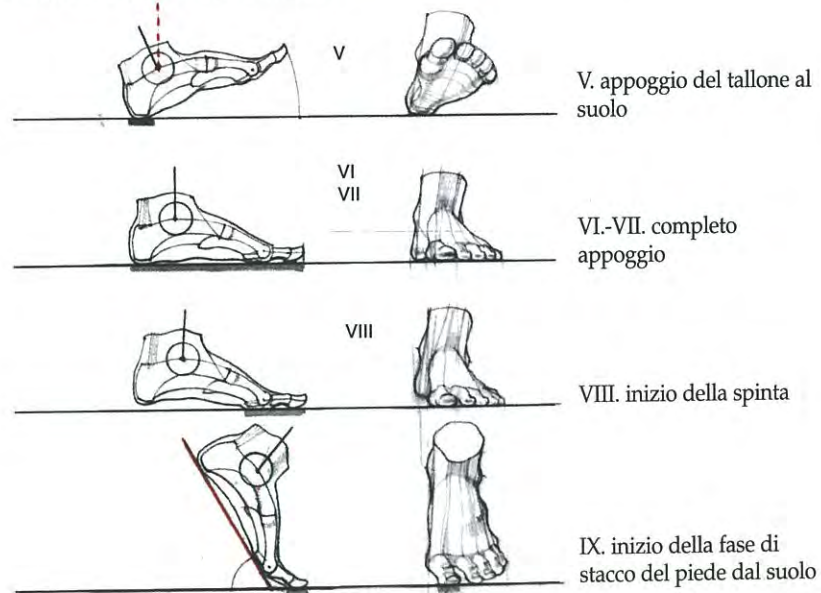
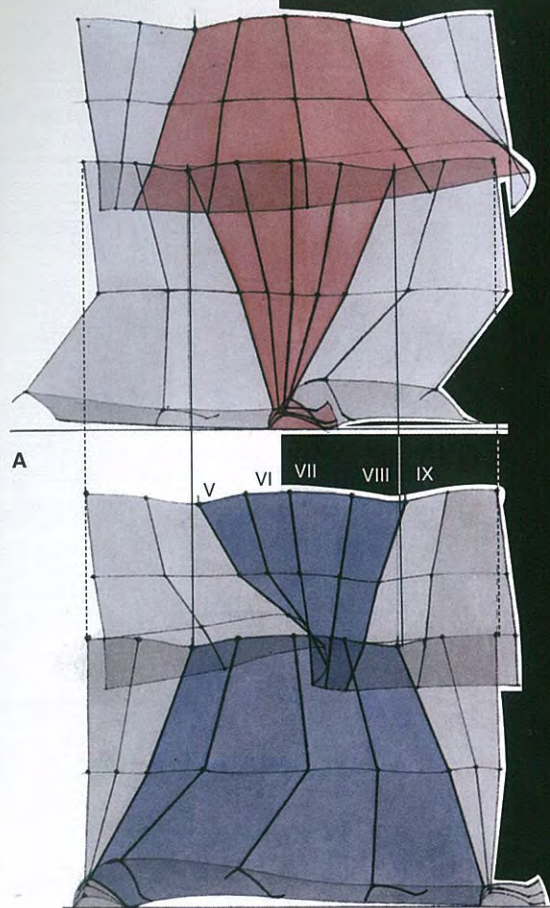



Fig. A
Diagramma dei segmenti scheletrici degli arti superiori e inferiori nella scansione del passo: arto destro in grigio, arto sinistro in rosso.

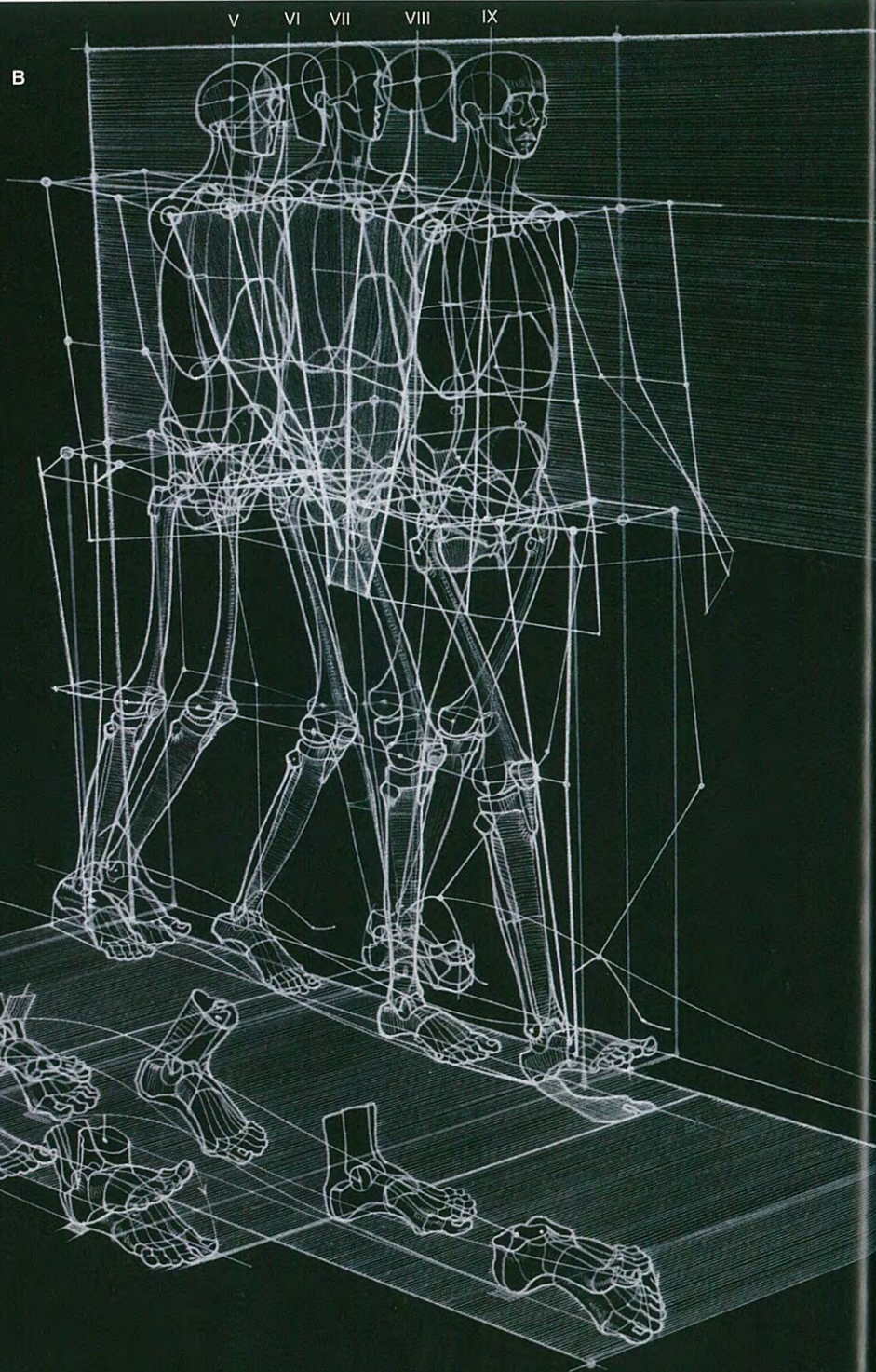
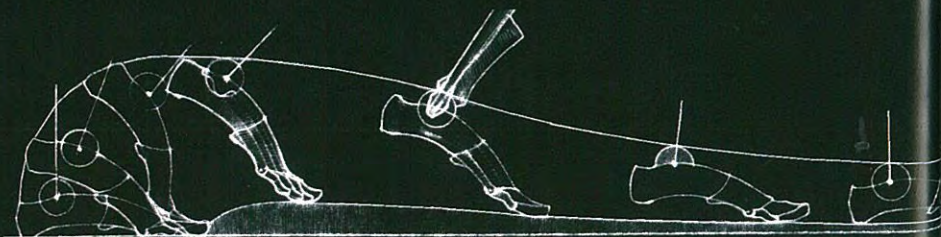
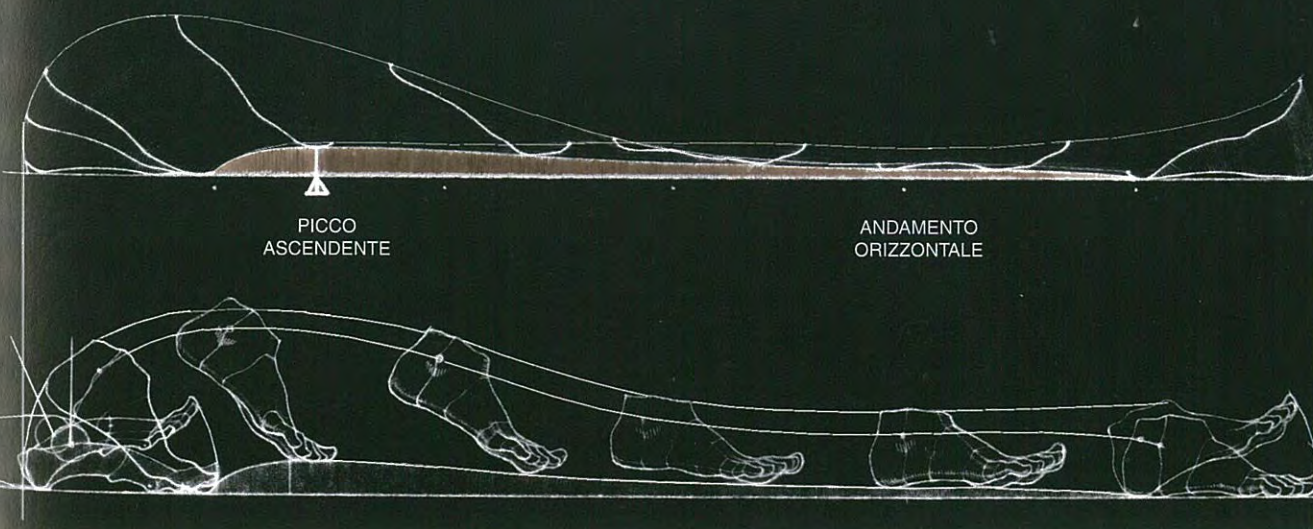
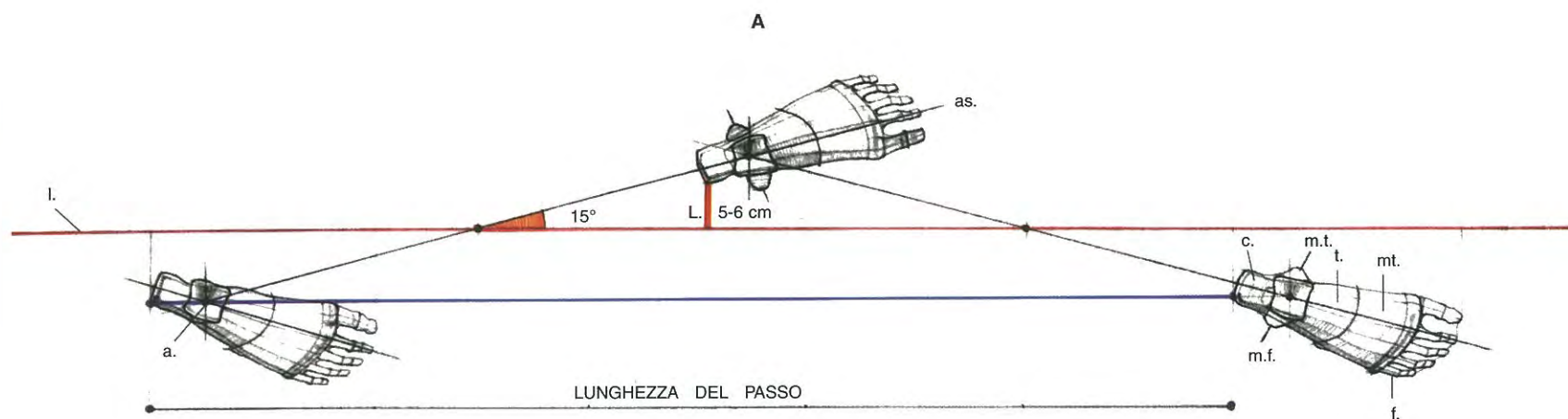



Fig. B
Visione tridimensionale del passo.

Parametri del passo

Poiché il ciclo completo del passo è costituito dalla sequenza dei movimenti del corpo compresa tra due appoggi successivi dello stesso tallone al suolo, lo spazio percorso tra i due momenti sarà definito lunghezza del passo, e sarà pari alla lunghezza del piede sommata a quella dello spazio che esso percorre in aria. Si tratta dunque di una distanza variabile in relazione alla lunghezza degli arti e alla velocità di spostamento di un individuo. Nel suo percorso aereo il piede traccia una traiettoria ad andamento curvilineo con apice di curvatura al momento dello stacco dal suolo e successiva graduale attenuazione, fino al suo annullamento al momento dell'appoggio del tallone. La distanza misurabile dalle punta delle dita del piede in aria al suolo è di tre-quattro centimetri nel suo picco più alto; mentre a circa tre quarti della fase di sospensione, quando il piede, abbassandosi, sfiora il suolo in posizione orizzontale, si riduce a un centimetro circa.

Tav. II

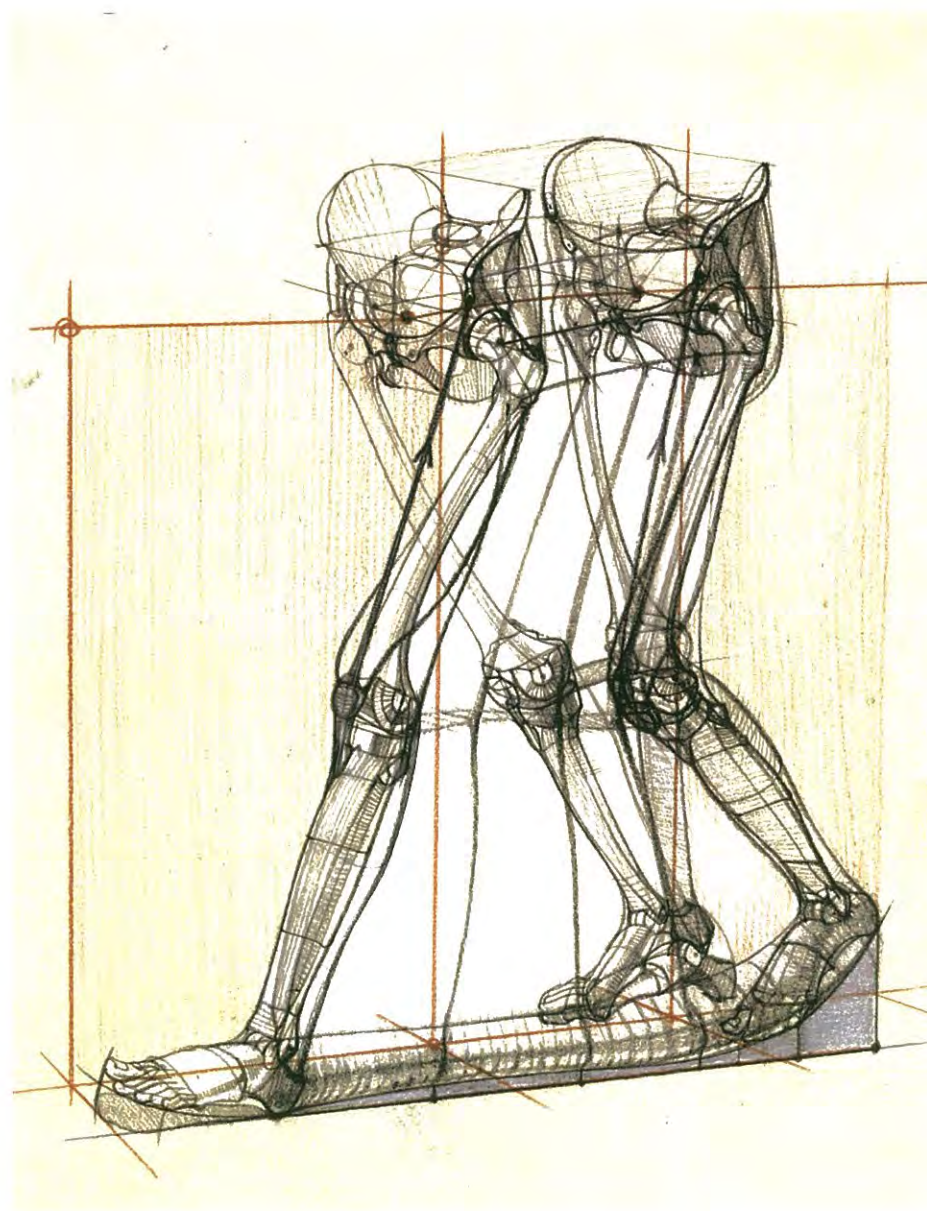
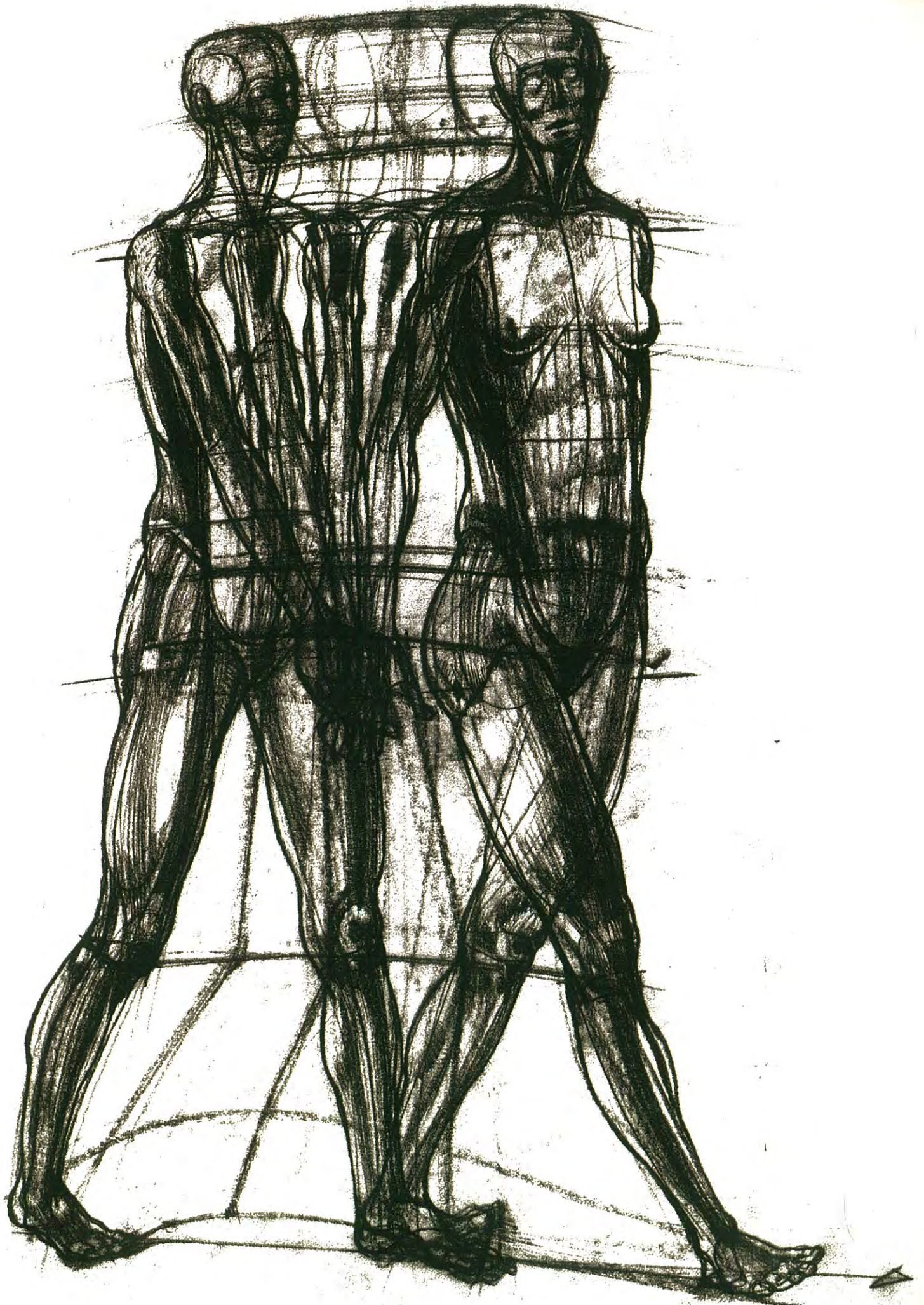
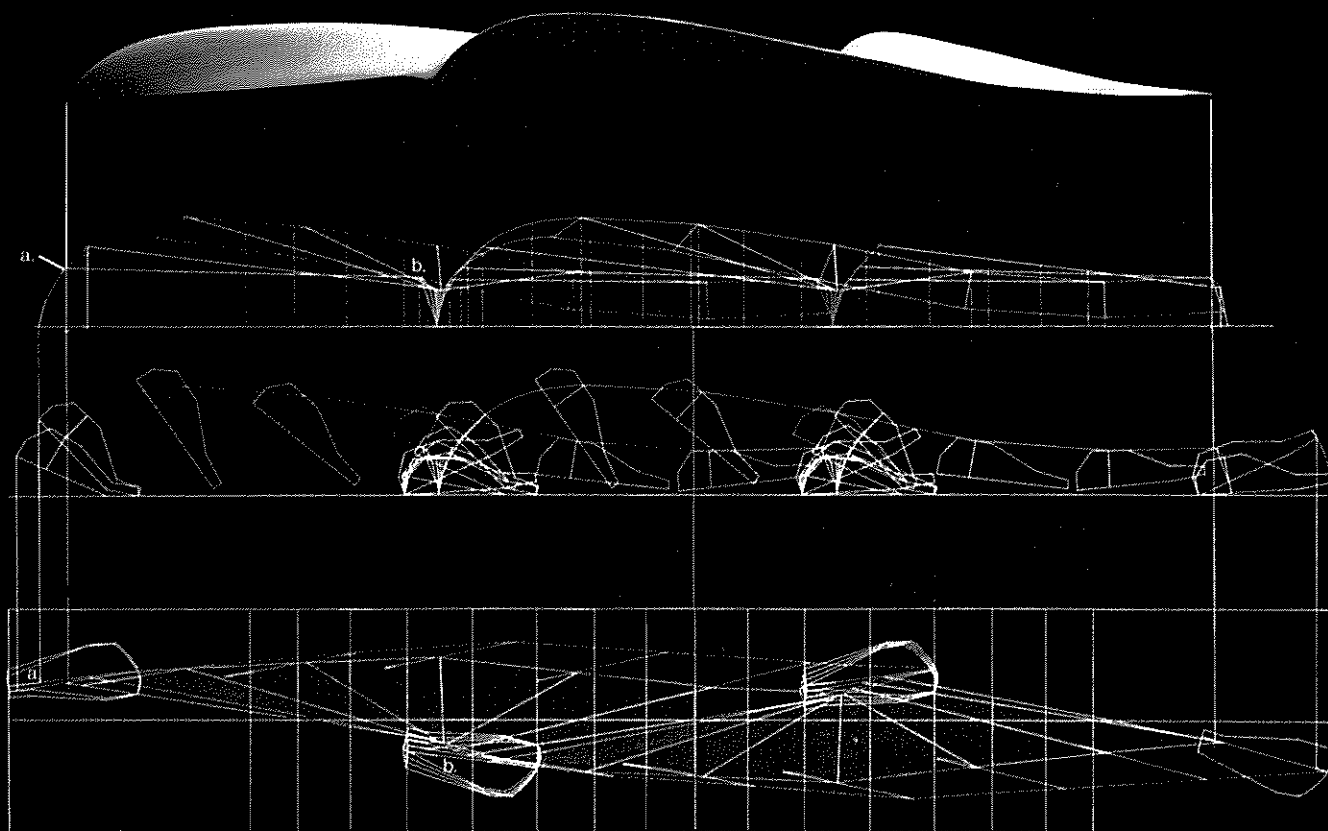
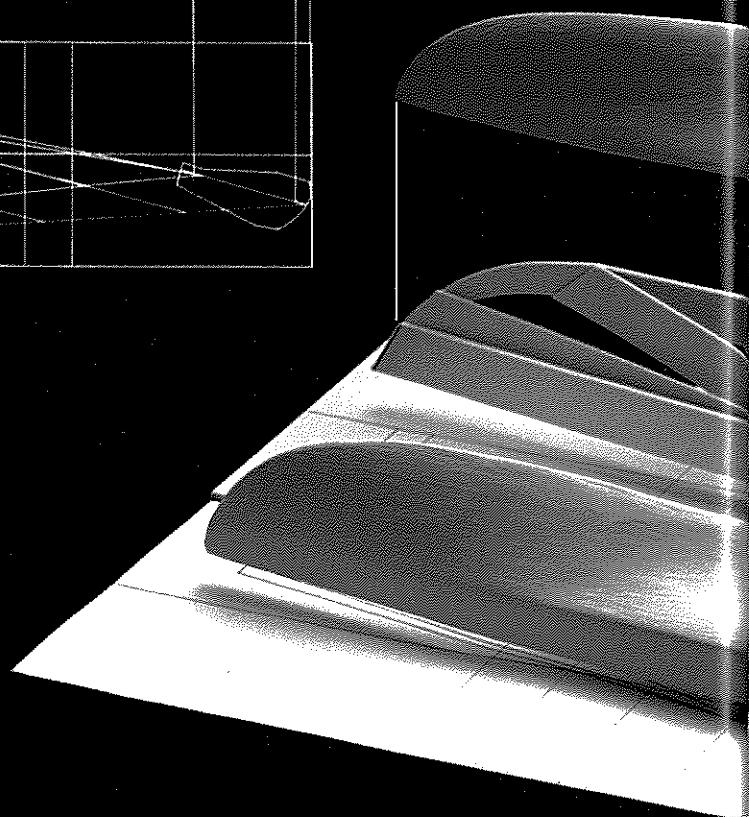
Gli altri parametri che concorrono alla misurazione e alla descrizione del passo sono la linea, la larghezza e l'angolo (Tav. II, Fig. A).

La linea del passo individua la traiettoria di spostamento del corpo.

La larghezza del passo misura la distanza tra il punto di appoggio del tallone di un piede e la linea del passo. Essa è in media di 5-6 cm, ma varia da individuo a individuo, e tende a crescere con l'aumento della velocità di spostamento del corpo.

L'angolo del passo descrive l'orientamento del piede nella fase di completo appoggio al suolo, misura la divaricazione del prolungamento dell'asse longitudinale del piede (dal tallone alle dita) dalla linea del passo; è in media di 15°, e si riduce con l'aumento della velocità di spostamento del corpo.

Fig. A
Visione dall'alto del piede nella fase di completo appoggio al suolo.
l. linea del passo
L. larghezza
as. asse longitudinale del piede

Elementi scheletrici del piede e della caviglia.
t. tarso
a. astragalo
c. calcagno
mt. metatarso
f. falangi
m.t. malleolo tibiale
m.f. malleolo fibulare

Nel ciclo del passo la traiettoria del centro di gravità descrive "un'elica alternata" spostandosi da un lato all'altro della linea mediana di andamento del passo; di conseguenza ciascun arto inferiore segue una cadenza ritmica ben precisa passando dalla condizione portante a quella oscillante. La fase di appoggio ha una durata pari al 60% dell'intero ciclo del passo; nel rimanente 40% (fase di sospensione) il piede deve ricoprire, in una frazione di tempo, la distanza percorsa dal bacino a una velocità pressoché uniforme. La fase di doppio appoggio corrisponde all'intervallo di tempo in cui un arto non ha ancora completato e l'altro ha già cominciato la sua fase di appoggio garantendo, in tal modo, la continuità del contatto con il suolo.
Il comportamento ritmico ottimale si ha quando lunghezza e frequenza dei passi sono proporzionate alla velocità.
La forma plastica qui elaborata, generata dalla traslazione nello spazio di un segmento a-b che raccorda i due centri articolari delle caviglie, traduce le leggi del movimento, appena descritte, in una struttura rigorosa in grado di evidenziare il movimento compiuto dai due piedi nell'intero ciclo del passo.

Ricerca, eleborazione e modelli a cura di Cinzia Fiorese. Fotografia di Giuliano Francesconi.

Visione latero-posteriore

Visione latero-anteriore

SCHELETRO E FUNZIONI MECCANICHE DEL PIEDE

In questa lezione analizzeremo le funzioni meccaniche della struttura scheletrica, che possiamo considerare come la vera protagonista della deambulazione.
Il piede, quale segmento terminale dell'arto inferiore posto in posizione ortogonale rispetto alla gamba, costituisce una vera e propria "piattaforma" di sostegno del corpo nella stazione eretta, ma funziona anche da leva di propulsione per la deambulazione e per altri più complessi movimenti come la corsa e il salto.
Il suo scheletro è composto da tre gruppi di ossa: tarso, metatarso e falangi od ossa delle dita.
Il tarso è la parte più voluminosa del piede, ne occupa la metà posteriore e su di esso grava la maggior parte del peso del corpo. È composto da sette ossa brevi: calcagno, astragalo, scafoide, cuboide e primo, secondo, terzo cuneiforme (Figg. A, B, C).
Il metatarso, con le sue cinque ossa, occupa la posizione mediana. Le ossa metatarsali sono ossa lunghe in miniatura, e pertanto ciascuna possiede un corpo, una base che articola con le ossa del tarso, e una testa che articola con le falangi prossimali delle rispettive dita.
La porzione anteriore del piede è occupata dalle falangi: due nell'alluce o primo dito, e tre in ciascuno degli altri.

Tav. I

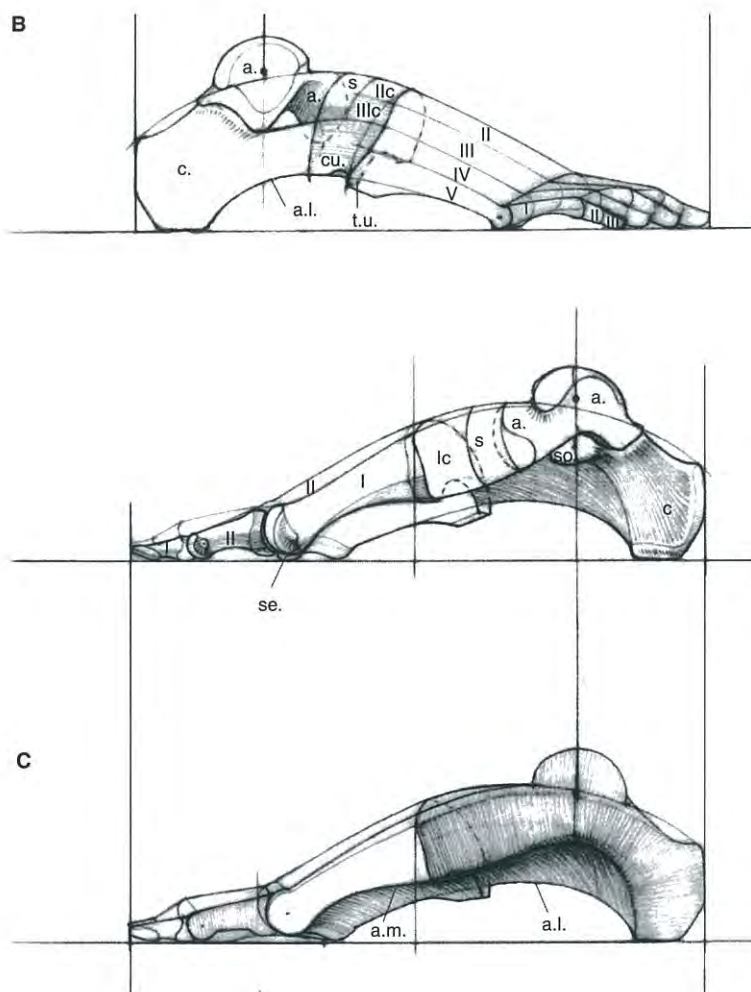



Fig. A
Visione dorsale dello scheletro del piede destro.

T Tarso:
c. calcagno
a. astragalo
s. scafoide
cu. cuboide
Ic. primo cuneiforme
IIc. secondo cuneiforme
IIIc. terzo cuneiforme

MT Metatarso:
I primo metatarsale
II secondo metatarsale
III terzo metatarsale
IV quarto metatarsale
V quinto metatarsale

F Falangi:
I prima falange
II seconda falange
III terza falange

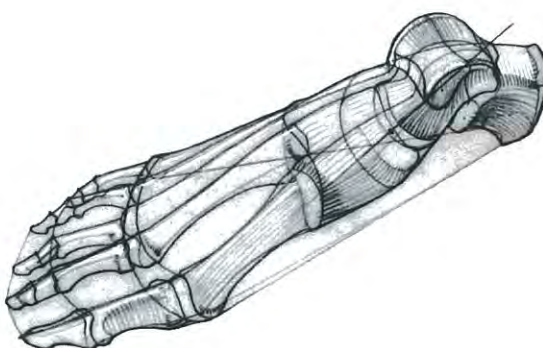



Fig. B
Visione schematica del profilo laterale del piede destro.
tu. tuberosità del quinto metatarsale

Fig. C
Visione schematica del profilo mediale del piede destro.
a.m. arcata longitudinale mediale
a.l. arcata longitudinale laterale
so. sostentacolo del calcagno
se. piccolo osso sesamoidale situato sotto la testa del primo metatarsale

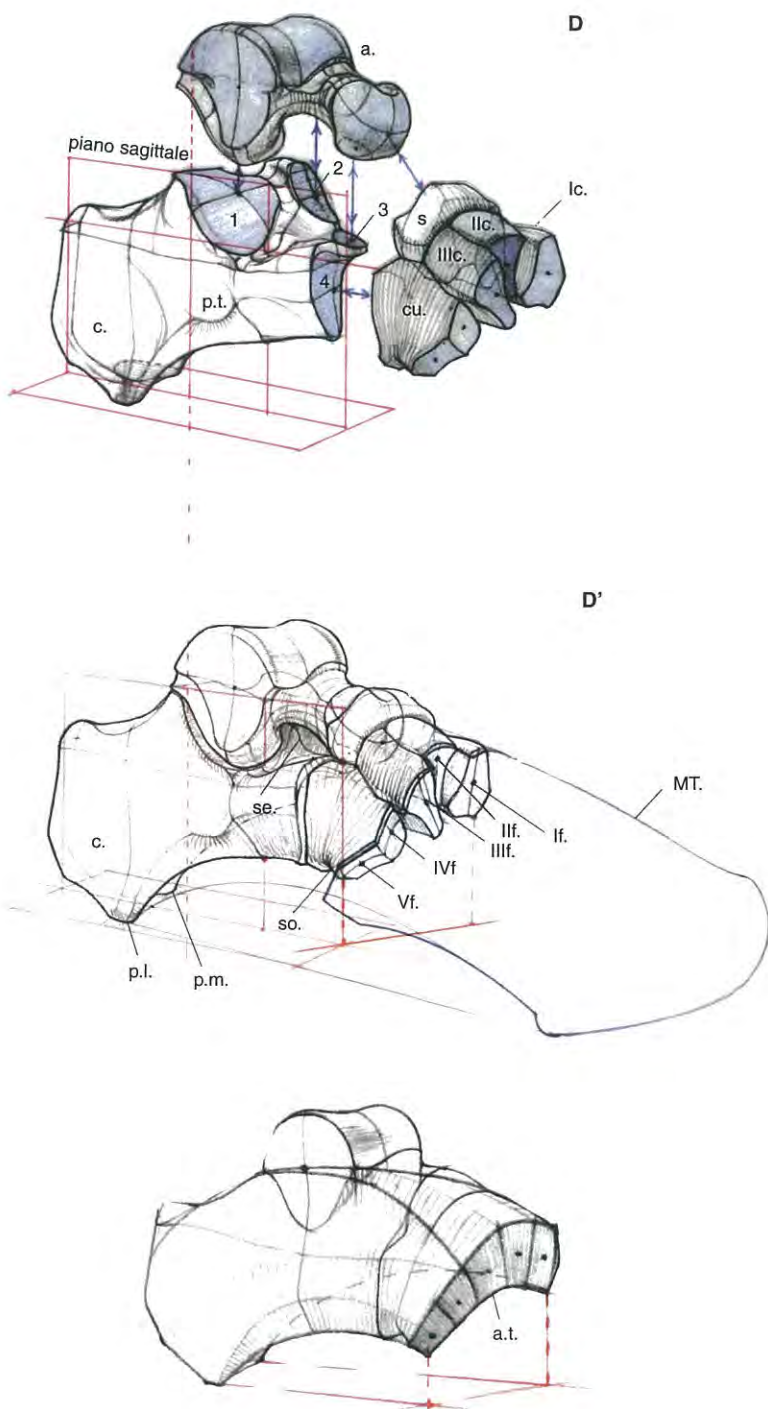
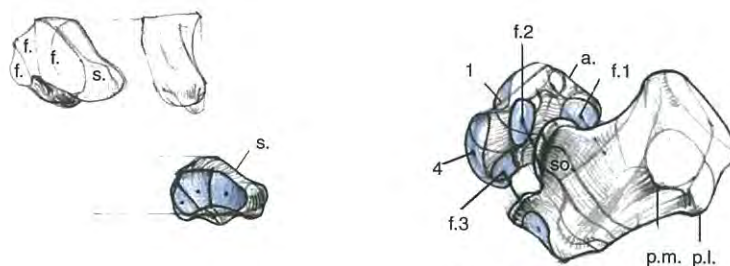



Fig. E
Particolari delle facce articolari dell'astragalo per l'articolazione con il calcagno del piede destro e lo scafoide.

1 faccetta malleolare tibiale
2 troclea
3 faccetta malleolare fibulare
co. collo
t. testa
4 faccia articolare per lo scafoide
s. scafoide
f. faccette articolari per i tre cuneiformi
f.1 faccia articolare posteriore per il calcagno
f.2 faccetta articolare media per il calcagno corrispondente al sostentacolo
f.3 faccetta articolare anteriore per il calcagno

visione inferiore del calcagno e dell'astragalo disgiunti

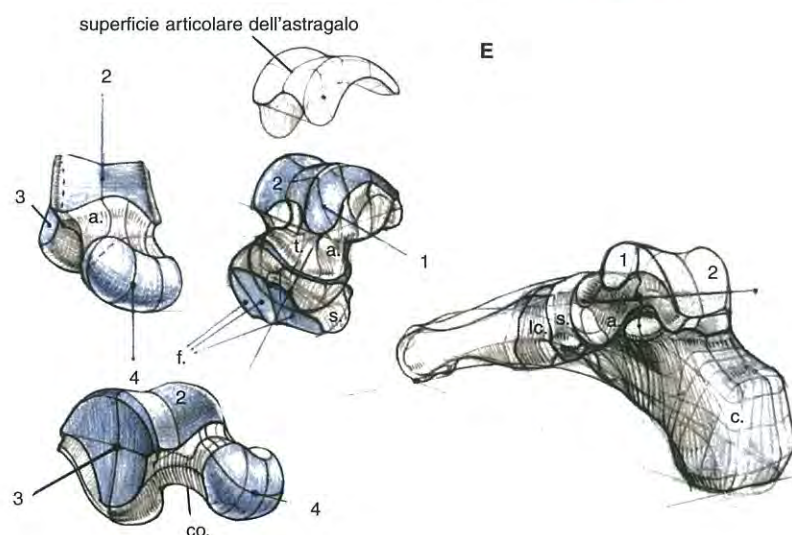



Fig. D
Visione latero-anteriore dello scheletro del tarso.
Nell'esploso, sono distinti, l'astragalo (a.), il calcagno (c.) e il gruppo delle ossa anteriori: scafoide (s.), cuboide (cu.) e I, II, III cuneiforme (Ic., IIc., IIIc.).

Calcagno:

1 faccia articolare posteriore per l'astragalo
2 faccetta articolare media per l'astragalo situata sopra il sostentacolo
3 faccetta articolare anteriore per l'astragalo
4 faccia articolare per il cuboide
p.t. processo trocleare

Fig D'
Ossa del tarso:

p.l. processo laterale del calcagno da cui origina l'arcata longitudinale laterale
p.m. processo mediale del calcagno ove origina l'arcata longitudinale mediale
so. solco del cuboide per il passaggio del tendine del muscolo peroneo lungo
se. seno del tarso
If. faccetta articolare per il primo metatarsale
IIf. faccetta articolare per il secondo metatarsale
IIIf. faccetta articolare per il terzo metatarsale
IVf. faccetta articolare per il quarto metatarsale
Vf. faccetta articolare per il quinto metatarsale
MT. perimetro del metatarso

Volumetria del tarso:

a.t. l'arcata trasversale del tarso corrisponde al I, II, III cuneiforme e al cuboide. Questa arcata risulta completamente sospesa rispetto al piano di appoggio del piede.

Tav. II

L'architettura scheletrica del piede è organizzata su cinque raggi, che conferiscono al piede la sua caratteristica forma triangolare con apice posteriore nel calcagno e base in avanti nella regione delle falangi delle cinque dita. La distribuzione dei singoli elementi scheletrici lungo i cinque raggi è poi organizzata su due arcate longitudinali e su un'arcata trasversale che costituiscono, nell'insieme, l'arcata plantare, alla quale il piede deve la sua forma "cupolata", convessa nella faccia superiore o dorsale e concava nella faccia inferiore o plantare (Figg. A, B).

Il primo, secondo e terzo raggio corrispondono rispettivamente all'alluce, al secondo e al terzo dito che, a loro volta, articolano con le corrispondenti ossa metatarsali, connesse con le ossa del tarso rispettivamente nel primo, secondo e terzo cuneiforme. Questi ultimi segmenti scheletrici articolano con lo scafoide; lo scafoide articola con l'astragalo, l'astragalo articola con il calcagno e viene perciò a trovarsi nella parte più elevata del piede.

L'insieme di questi elementi scheletrici forma la "travatura" ossea dell'arcata longitudinale mediale, caratterizzata da una forte curvatura. Il settore corrispondente al suo primo raggio, che costituisce il margine mediale dell'arcata plantare, è dotato di una struttura ossea particolarmente robusta, verificabile sia nelle falangi dell'alluce sia nel primo metatarsale (Fig. E, a.m.).

Grazie alla sua robustezza, questo settore funziona da leva nel sollevamento dell'intero corpo. Ciò è particolarmente evidente nella posizione di una persona in punta di piedi, nella quale il peso del corpo grava sulle teste dei metatarsali e in particolare sulla testa del primo metatarso corrispondente al primo raggio.

I due raggi rimanenti fanno capo al quarto e quinto dito, che attraverso le ossa metatarsali corrispondenti articolano nel tarso con il cuboide, mentre il cuboide articola con il calcagno formando l'arcata longitudinale laterale a curvatura ribassata rispetto alla precedente (Fig. E, a.l.); in particolare il quinto raggio corrisponde con il margine laterale del piede il quale, essendo ribassato, permette un appoggio stabile al suolo.

A costituire l'arcata plantare concorre, infine, l'arcata trasversale: una particolare organizzazione ad arco delle ossa del tarso composta dal primo, secondo e terzo cuneiforme più il cuboide (Figg. C, D, a.t.).

A

B

t.

t.

DORSALE

PLANTARE

C

IIc.

IIIc.

Ic.

cu.

a.t.

a.t.

c.

t.

t.

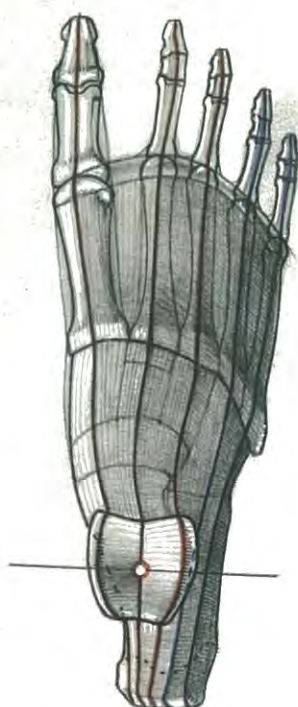
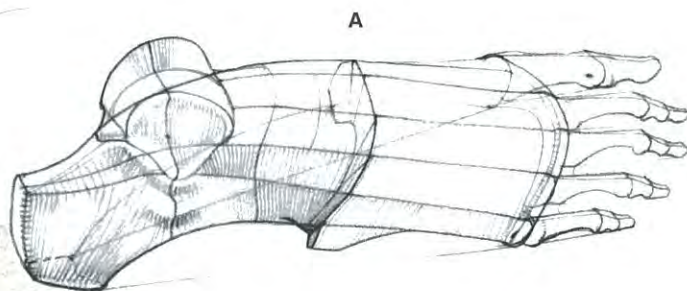
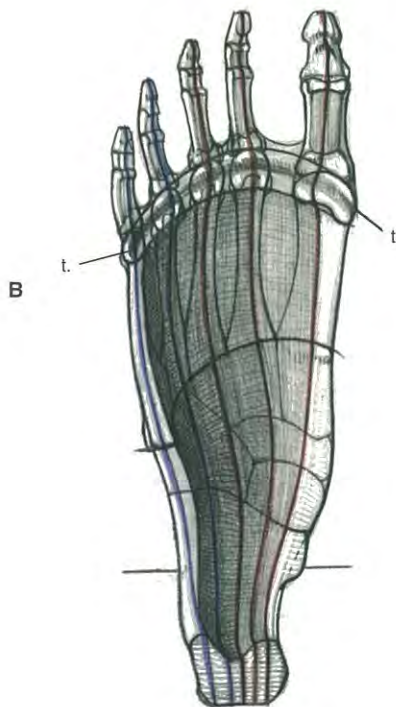



Fig. A
Visione latero-posteriore: tutta la superficie dorsale risulta convessa specie sul tarso.

Fig. B
Struttura dello scheletro del piede che ne esemplifica la forma convessa sul lato dorsale e concava sul lato plantare.
Sono evidenziati in rosso e blu gli andamenti dei cinque raggi scheletrici.
t. teste delle ossa metatarsali

Fig. C
Visione frontale anteriore dello scheletro del tarso e delle traiettorie dei cinque metatarsali corrispondenti ai cinque raggi.
a.t. margine dell'arcata trasversale
c. superficie plantare del calcagno
Ic. primo cuneiforme
IIc. secondo cuneiforme
IIIc. terzo cuneiforme
cu. cuboide

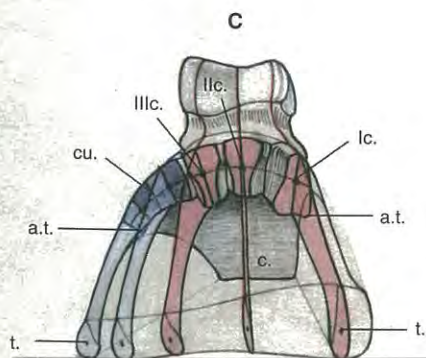
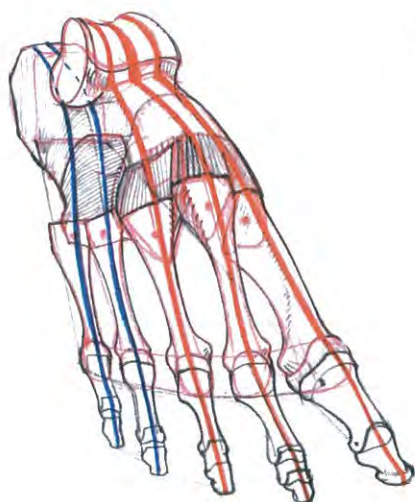



Fig. D
Visione antero-laterale.
Direzione dei cinque raggi lungo l'asse longitudinale mediano dei cinque metatarsali e delle cinque falangi.
a.t. margine dell'arcata trasversale

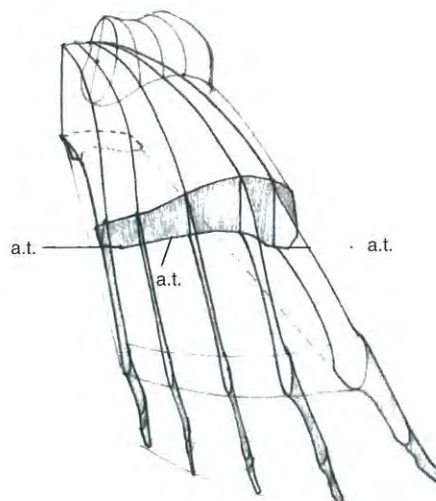
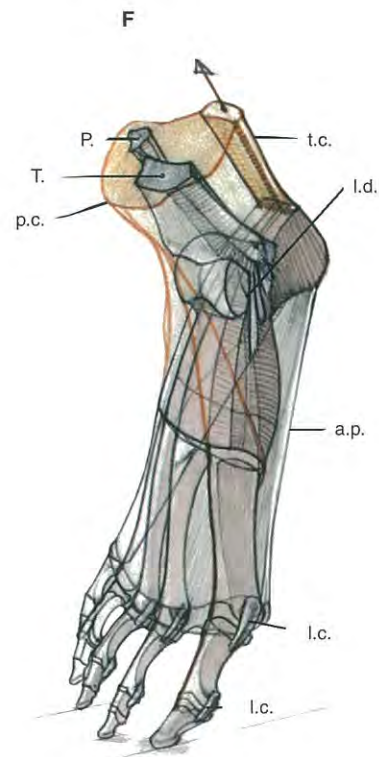
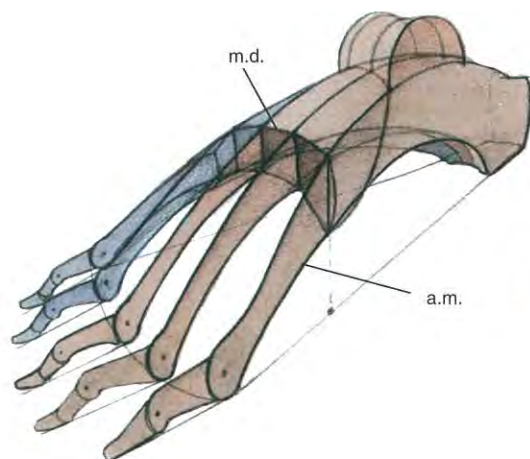
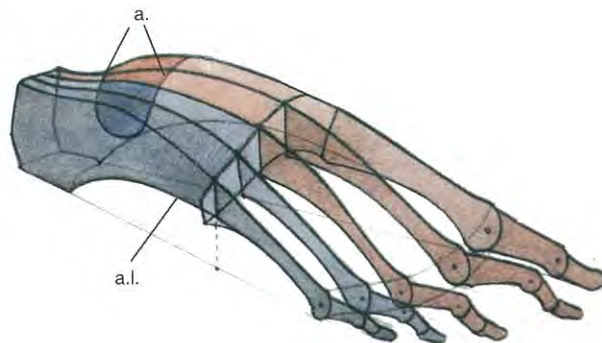



Fig. E
Visione antero-mediale.
a.m. arcata longitudinale mediale
m.d. margine dorsale distale del tarso
Visione latero-anteriore.
a.l. arcata longitudinale laterale
a. area corrispondente allo sviluppo dell'astragalo

Fig. F
Il piede visto nel momento dello stacco dal suolo, con le traiettorie di andamento dei legamenti e dei tendini dei muscoli della gamba.
T. tibia (sezione)
P. perone (sezione)
p.c. perimetro della caviglia (sezione)
a.p. aponeurosi plantare
t.c. tendine calcaneale
l.d. legamento deltoideo
l.c. legamento collaterale

Il piede, dunque, grazie a questa architettura arcuata di segmenti scheletrici, è una struttura particolarmente adeguata alla distribuzione delle sollecitazioni del peso che grava su di essa, abbastanza flessibile per adeguarsi a superfici irregolari e inclinate, e idonea a trasformarsi in una leva elastica per propellere il corpo in avanti.
La stabilità della struttura del piede è assicurata da una trama di legamenti, veri e propri "tiranti", che fissano tra di loro i singoli elementi scheletrici (Tav. III, Fig. A). Per comprendere appieno il funzionamento di questo sistema di tiranti muscolari dovremo analizzare sia la muscolatura intrinseca del piede (che vedremo nella lez. 6), sia una serie di muscoli estrinseci che originano dal segmento della gamba e prendono inserzione sulle strutture scheletriche e legamentose del piede. Dato il loro decorso ad andamento longitudinale sia nel dorso sia nella vasta e scavata area plantare (Figg. B, C, D), essi contribuiscono attivamente al mantenimento della stessa arcata.

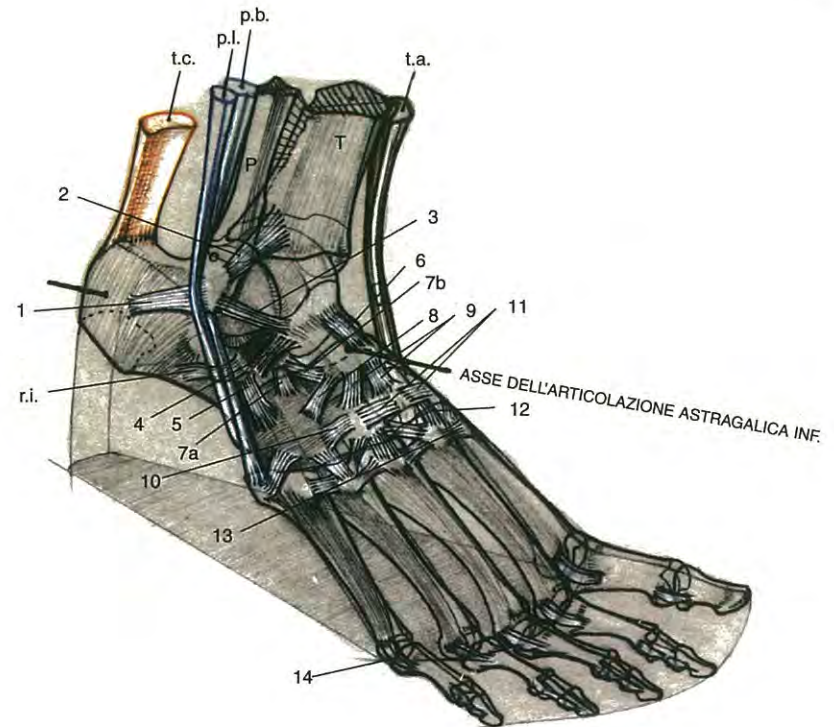



Fig. A
Visione antero-laterale dell'apparato legamentoso latero-dorsale.
T. tibia
P. perone

Tendini:
t.c. tendine calcaneale
p.l. peroneo lungo
p.b. peroneo breve
t.a. tibiale anteriore
r.i. retinacolo inferiore dei muscoli peronieri

Legamenti:
1 calcaneofibulare
2 tibiofibulare anteriore
3 talofibulare anteriore
4 talocalcaneale interosseo
5 calcaneocuboideo dorsale
6 talonavicolare
7 biforcato
-a. calcaneocuboideo
-b. calcaneonavicolare
8 cuboideonavicolare dorsale
9 cuneonavicolari dorsali
10 cuneocuboideo dorsale
11 intercuneiformi dorsali
12 tarsometatarsali dorsali
13 metatarsali dorsali
14 collaterale

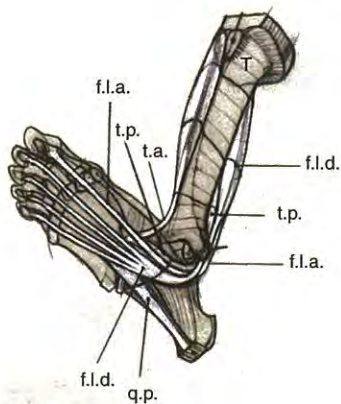



Fig. C
Scheletro della gamba e del piede osservati dal basso.
Piede in flessione dorsale.
q.p. quadrato della pianta (vedi lez. 6)

Fig. B
Piede in flessione plantare con sezione della gamba.
Muscoli che agiscono come flessori plantari:
g. gastrocnemio
-m. capo mediale
-l. capo laterale
-s. soleo
f.l.a. flessore lungo dell'alluce
f.l.d. flessore lungo delle dita
t.p. tibiale posteriore
p.l. peroneo lungo
p.b. peroneo breve
r. retinacolo per contenere i tendini dei muscoli flessori

Muscoli che agiscono come flessori dorsali (in questo movimento sono antagonisti).
t.a. tibiale anteriore
e.l.a. estensore lungo dell'alluce
e.l.d. estensore lungo delle dita
p.t. peroneo terzo
Sull'arcata plantare mediale sono visibili due dei muscoli brevi della pianta:
a.a. abduttore dell'alluce
f.b.d. flessore breve delle dita (vedi lez. 6)

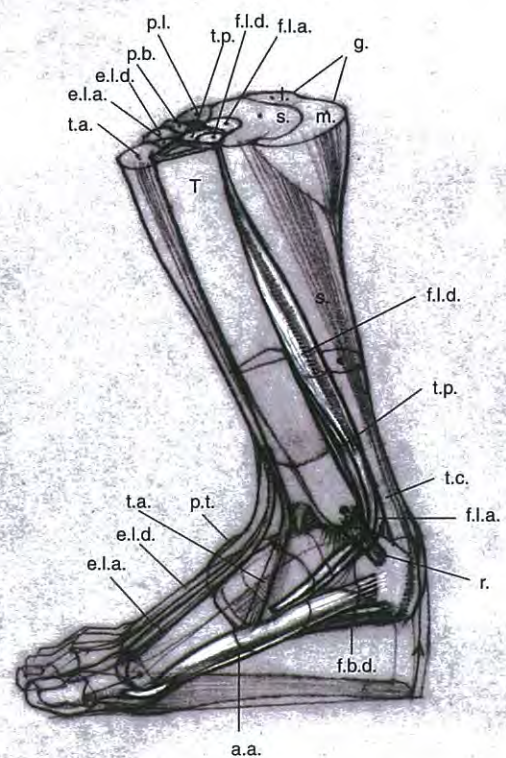
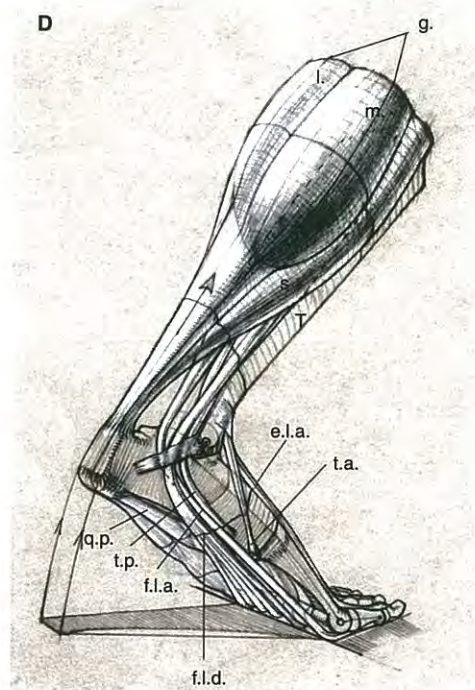



Fig. D
Visione postero-mediale della gamba sezionata e del piede sinistro in flessione plantare.

Fig. E
Visione posteriore dello scheletro del piede e della caviglia.
Piede in flessione dorsale.
m.t. malleolo tibiale
m.f. malleolo fibulare

s.m. solco malleolare mediale per il passaggio del tendine tibiale posteriore
s.l. solco malleolare laterale per il passaggio del tendine del peroneo breve

A questo proposito si consideri che nel piede il fulcro del movimento è costituito dal meccanismo a cerniera dell'articolazione tibio-tarsica, impostata sull'asse dei malleoli che contengono le aree articolari superiori dell'astragalo (Figg. E, F e Tav. I, Fig. E).
La cerniera articolare bimalleolare consente al piede, in primo luogo, un movimento di flessione dorsale che lo eleva e lo avvicina alla gamba (Fig. G_1) e, in secondo luogo, un movimento di flessione plantare che lo abbassa (Fig. G_2) e lo allinea sull'asse della gamba. Inoltre essa consente un movimento di circumduzione del piede, per cui la punta dello stesso descrive un'orbita ellittica con l'asse maggiore orientato nel verso del movimento di flessione dorsale e plantare (Fig. H).
I muscoli che governano questi movimenti sono quelli che originano dal segmento scheletrico della gamba e che permettono la flessione dorsale (il tibiale anteriore, l'estensore lungo delle dita, quello dell'alluce e il peroneo terzo) e i sette flessori plantari (gastrocnemio, soleo, flessore lungo dell'alluce, peroneo lungo e breve, flessore lungo delle dita, tibiale posteriore) che si contrappongono all'azione dei primi (Figg. B, C, D). L'evidente disparità numerica e la disarmonia di potenza tra i flessori plantari e i flessori dorsali sono dovute al fatto che nel movimento del passo lo sforzo maggiore è quello compiuto dai muscoli dell'arto portante (soprattutto del gastrocnemio e soleo, che insieme formano il tricipite del sura) che devono premere il piede sul terreno per sollevare l'intera massa corporea (Fig. B). Invece il lavoro muscolare necessario per sollevare il piede dopo lo stacco dal terreno è minimo, data la perdita di spinte di compressione al suolo dovute al peso del corpo.

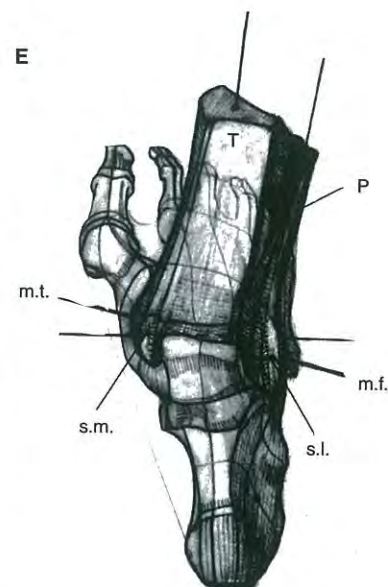
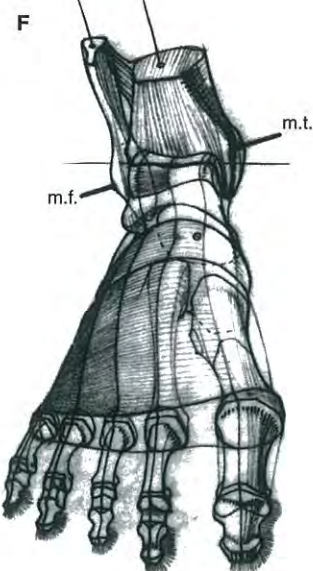



Fig. F
Visione anteriore dell'articolazione tibio-tarsica.

Fig. G
1 flessione dorsale
2 flessione plantare

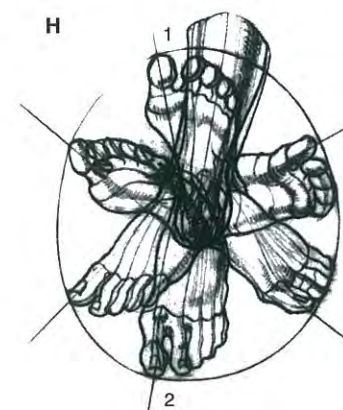



Fig. H
Movimento di circumduzione del piede.

Oltre ai movimenti di flessione dorsale e plantare, si devono poi considerare i movimenti di rotazione del piede sul suo asse longitudinale, detti di pronazione e supinazione.
La pronazione è una torsione verso l'esterno che comporta il sollevamento del margine laterale del piede, con la conseguenza di una rotazione del margine mediale verso il basso e dell'alluce verso il suolo (Figg. A, B).
La supinazione invece è una torsione verso l'interno che causa un contatto plantare più diretto del margine laterale del piede con il suolo, con un conseguente sollevamento del margine mediale (Figg. A, B).
I muscoli coinvolti nel movimento di pronazione sono il peroneo lungo, breve e terzo, e l'estensore lungo dell'alluce e delle dita; quelli che presiedono al movimento di supinazione sono il tricipite della sura, il tibiale posteriore, il flessore lungo dell'alluce e delle dita, e il tibiale anteriore (Fig. B, Tav. III, Fig. C).
Nella supinazione il movimento rotatorio è assicurato, oltre che dai muscoli flessori plantari che originano dall'area posteriore della gamba, anche dall'azione del tibiale anteriore, che origina dal lato antero-laterale della gamba e che al contempo svolge un ruolo di flessore dorsale (Tav. III, Fig. C).
Nel movimento di pronazione, invece, entrano in gioco dei flessori plantari, i muscoli peroneo lungo e breve, poiché l'asse di rotazione non fa più perno sull'articolazione tibio-tarsica tra la regione articolare superiore dell'astragalo e il mortaio tibio-fibulare, ma coinvolge l'area articolare inferiore dell'astragalo. Questa articolazione tra astragalo, calcagno e scafoide, definita astragalica inferiore, permette i movimenti rotatori di pronazione e supinazione attorno a un asse obliquo che parte dal collo dell'astragalo, attraversa il seno del tarso e arriva al tubercolo laterale del calcagno (Figg. A, C).
La potenza dei supinatori è doppia rispetto all'apparato muscolare dei pronatori dato che la funzione dei primi è di sostenere la volta plantare, impedendo alla forza di gravità del corpo di imprimere un movimento di pronazione che tende ad appiattirla; anche nell'andatura del passo, infatti, il peso che grava alternativamente su uno dei due arti tende a sottoporre il piede a continui movimenti rotatori di pronazione. Il margine mediale del piede è dunque il più sottoposto alle pressioni del peso ed è interessante notare come i tendini dei muscoli peroneo lungo e tibiale anteriore, trovando un'inserzione comune nel piano scheletrico profondo della volta plantare, formino un anello o una sorta di staffa di sostegno che mantiene in costante tensione la volta e il margine mediale (Fig. D).
Il margine mediale del piede è sostenuto anche dall'azione del tendine del flessore lungo dell'alluce che, dato il suo percorso, agisce da tirante longitudinale dell'arcata.
A sostegno dell'arcata plantare dovremo inoltre considerare come fondamentale l'apporto di tutta la muscolatura intrinseca del piede, e in particolare l'azione dei muscoli plantari brevi: questi tiranti muscolari hanno in sé scarso valore motorio, ma agendo assieme ai fasci fibrosi dell'aponeurosi plantare mantengono nella giusta condizione meccanica la sagoma arcuata del piede (Figg. D, E e lez. 6).
Essi infatti sono i principali antagonisti del tricipite della sura, potente complesso muscolare posteriore della gamba che, agendo sul calcagno, tende ad appiattire l'arcata del piede; ma poiché entrambi i sistemi muscolari si incontrano nel calcagno, essi si equilibrano reciprocamente (Tav. III, Fig. D).

Tav. IV

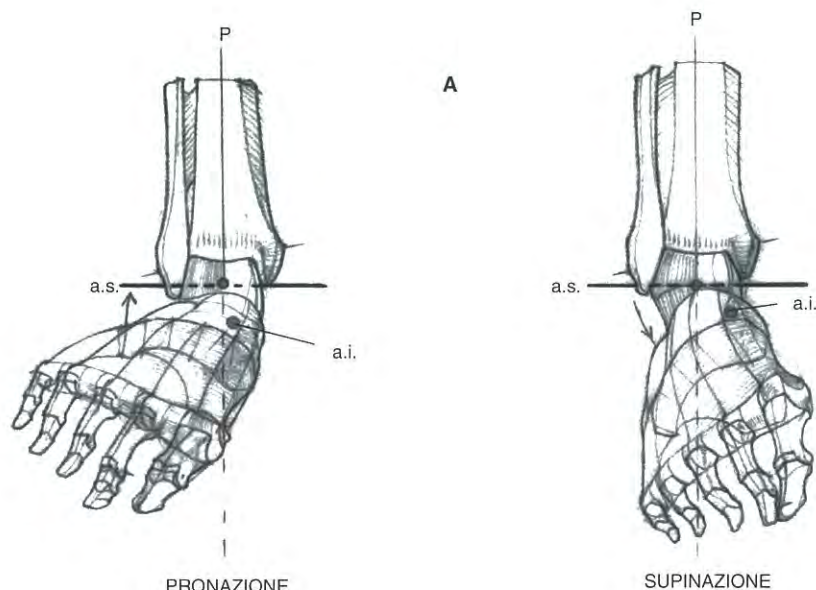



Fig. A
Movimenti rotatori del piede.
P. asse dello scheletro della gamba
a.s. asse dell'articolazione astragalica-superiore o articolazione tibio-tarsica, perno di movimento della flessione dorsale e plantare del piede
a.i. punto corrispondente all'asse dell'articolazione astragalica-inferiore a cui fanno perno i movimenti di pronazione e supinazione

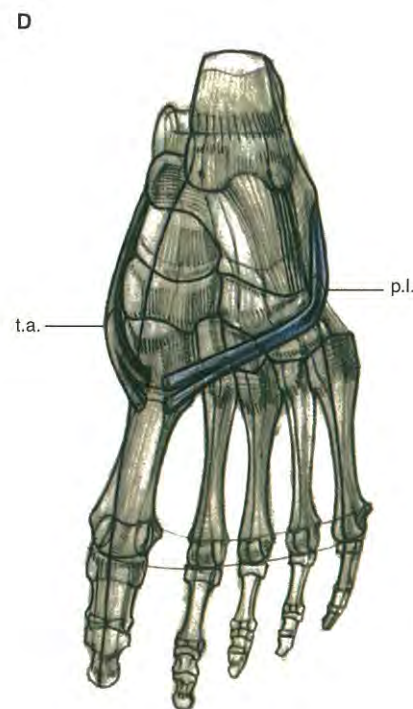



Fig. D
Visione posteriore e inferiore dello scheletro del piede.
Inserzioni tendinee dei muscoli tibiale anteriore e peroneo lungo.

Fig. E
Visione laterale e inferiore della struttura scheletrica del piede. La volta plantare è mantenuta in tensione – oltre che dai tendini dei muscoli della gamba – anche dai muscoli plantari rivestiti dall'aponeurosi plantare.
Le frecce indicano la direzione della contrazione e della torsione plantare.

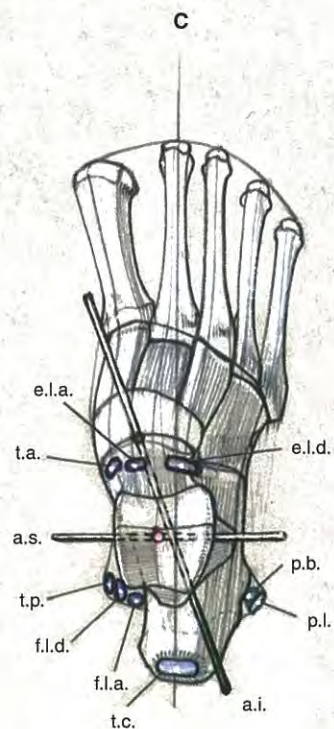
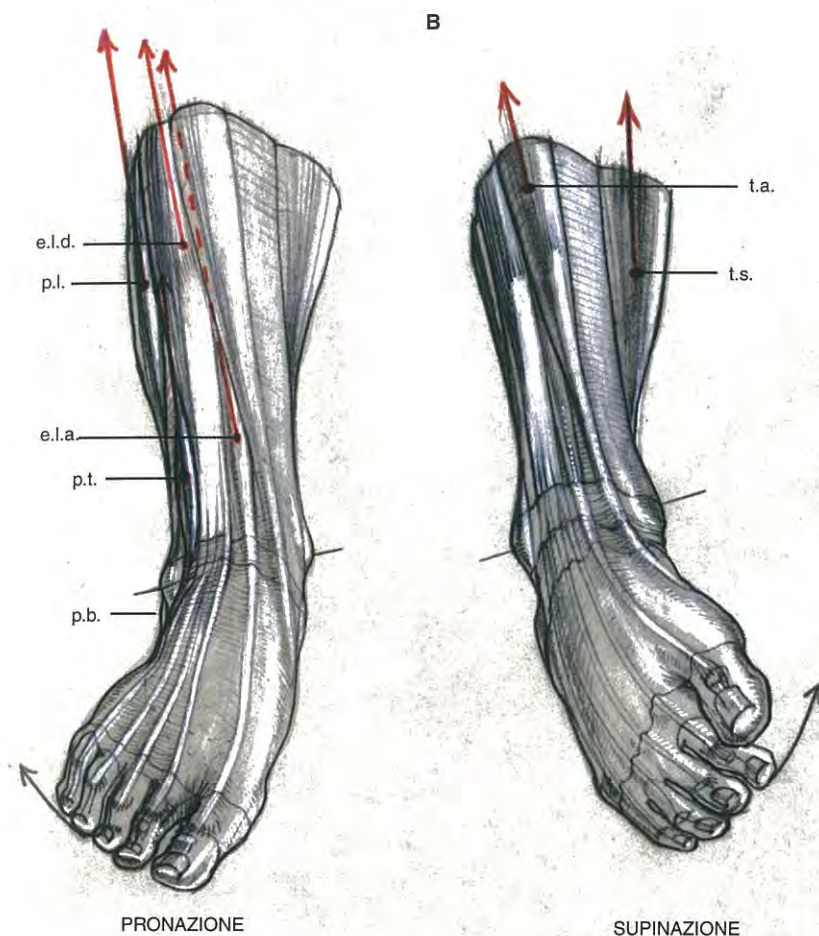



Fig. C
Visione dorsale del tarso e metatarso.
Orientamento degli assi dell'articolazione astragalica superiore e inferiore.
Sezione dei tendini rispetto all'articolazione della caviglia:
t.a. tibiale anteriore
e.l.a. estensore lungo dell'alluce
e.l.d. estensore lungo delle dita
t.p. tibiale posteriore
f.l.d. flessore lungo delle dita
f.l.a. flessore lungo dell'alluce
t.c. tendine calcaneale
p.l. peroneo lungo
p.b. peroneo breve

Fig. B
Muscoli visibili della gamba che contribuiscono ai due movimenti.

Pronazione
e.l.a. estensore lungo dell'alluce
e.l.d. estensore lungo delle dita
p.t. peroneo terzo
p.l. peroneo lungo
p.b. peroneo breve

Supinazione
t.a. tibiale anteriore
t.s. tricipite della sura (costituito dal gastrocnemio mediale, laterale, e dal soleo)

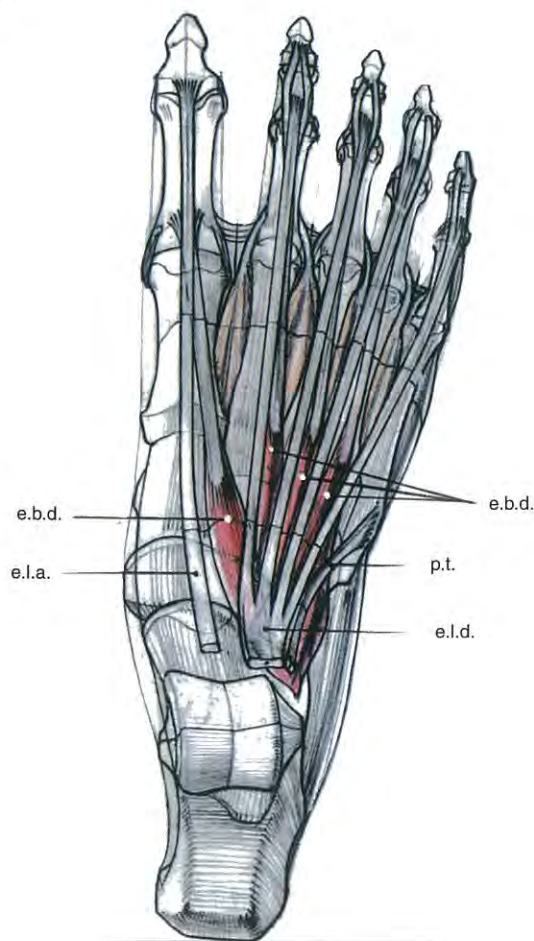
L'APPARATO MUSCOLARE INTRINSECO DEL PIEDE

L'apparato muscolare intrinseco del piede è costituito da un fitto insieme di muscoli brevi distribuiti per la maggior parte nella sua regione plantare, regione compresa tra l'apparato fibroso più superficiale della pianta del piede, l'aponeurosi plantare e la struttura scheletrica.
Questi muscoli agiscono sul movimento delle dita e svolgono, al contempo, la funzione di tensori dell'arcata plantare del piede; in questo modo mantengono in assetto la sua forma, contrastando l'azione di appiattimento dell'arcata ossea esercitata dal peso del corpo che grava sul piede (Fig. A).
Di conseguenza, in genere, presiedono al controllo statico dell'appoggio del piede al suolo. Se l'area plantare è la più interessata dal sistema muscolare intrinseco, la regione dorsale del piede presenta una superficie scheletrica attraversata dai tendini dei muscoli della gamba, mentre l'apparato intrinseco muscolare è ridotto a un unico muscolo, l'estensore breve delle dita.

I MUSCOLI BREVI DELLA REGIONE DORSALE

Il dorso del piede è percorso dai tendini dei muscoli estensori lunghi dell'alluce e delle dita che originano dalla regione anteriore della gamba, passano sul davanti dell'articolazione tibiotarsica e scendono fino alle falangi, ai quali si aggiungono i tendini dell'estensore breve delle dita che formano il piccolo sistema proprio del piede.

Estensore breve delle dita (Tav. I, Fig. B)
Origine: con quattro piccoli ventri muscolari origina dalla superficie superiore e laterale del calcagno. I suoi quattro tendini attraversano diagonalmente il dorso del piede passando al di sotto dei tendini degli estensori lunghi, prima di trovare inserzione alle falangi.
Inserzione: il primo tendine si inserisce nella superficie dorsale della falange prossimale dell'alluce; gli altri tre tendini si fissano ai margini laterali dei tendini dell'estensore lungo delle dita che si inseriscono al II, III e IV dito.
Azione: concorre a estendere le tre dita intermedie e la falange prossimale dell'alluce.

Fig. A
Visione del profilo dell'arcata mediale, mantenuta nella sua forma arcuata dal fitto sistema di legamenti e muscoli plantari.
p. peso del corpo che esercita la spinta sull'astragalo e che viene trasmesso, come indicato dalle frecce, sul calcagno e sulle teste metatarsali
a.b. direzione longitudinale dell'aponeurosi plantare e dei muscoli plantari brevi che funzionano da tensori della volta del piede
1 legamento plantare lungo
2 legamento calcaneocuboideo plantare
3 legamento calcaneonavicolare plantare

Tav. I

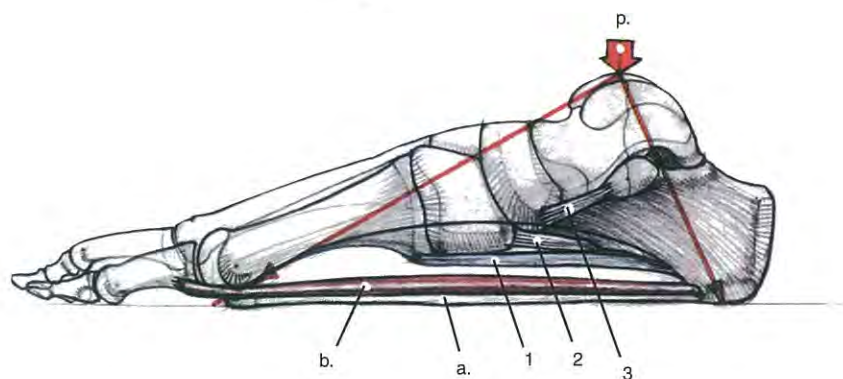



Fig. B
Muscoli brevi della regione dorsale del piede destro e tendini dei muscoli anteriori della gamba.
e.b.d. estensore breve delle dita (il primo ventre mediale può essere anche nominato estensore breve dell'alluce)
e.l.a. tendine dell'estensore lungo dell'alluce
e.l.d. tendine dell'estensore lungo delle dita
p.t. tendine del peroneo terzo

I MUSCOLI BREVI DELLA REGIONE PLANTARE

Nella regione plantare si possono distinguere, in base alle loro diverse funzioni, tre gruppi di muscoli: del margine mediale, del margine laterale e della regione intermedia.
Il gruppo del margine mediale comprende i muscoli che agiscono sul movimento dell'alluce e sono l'adduttore dell'alluce, il flessore breve dell'alluce e l'abduttore dell'alluce. Il gruppo del margine laterale agisce sul V dito ed è costituito dal flessore breve del V dito e dall'abduttore del V dito. I muscoli della regione intermedia, che comprende gli interossei, i lombricali, il flessore breve delle dita e il quadrato della pianta, interessano il movimento complessivo dell'avampiede. Quanto alla loro disposizione, notiamo come i muscoli plantari siano disposti su quattro strati sovrapposti: due strati profondi, uno medio e uno superficiale, come evidenziato nel seguente schema.

	REGIONE DEL MARGINE MEDIALE	*REGIONE INTERMEDIA*	*REGIONE DEL MARGINE LATERALE*
PRIMO STRATO PROFONDO		- Interossei dorsali - Interossei plantari	
SECONDO STRATO PROFONDO	- Adduttore dell'alluce - Flessore breve dell'alluce		- Flessore breve del V dito
STRATO MEDIO		- Lombricali Quadrato della pianta	
STRATO SUPERFICIALE	- Abduttore dell'alluce	- Flessore breve delle dita	- Abduttore del V dito

PRIMO STRATO PROFONDO

REGIONE INTERMEDIA

Appartengono a questo primo strato profondo gli interossei plantari e dorsali che occupano nel piede lo spazio vuoto tra le diafisi delle ossa metatarsali.

Interossei plantari (Tav. I, Fig. C)
Si tratta di tre piccoli muscoli che trovano posizione nel lato plantare delle ossa metatarsali.
Origine: dalle basi e dalla faccia mediale delle diafisi del terzo, quarto e quinto metatarsale.
Inserzione: trovano inserzione con un piccolo tendine alla superficie mediale delle basi delle falangi prossimali dei corrispettivi terzo, quarto e quinto dito.
Azione: considerando che l'asse longitudinale del piede passa per il secondo dito, svolgono un ruolo di adduttori.

Interossei dorsali (Tav. I, Fig. C)
Sono quattro muscoli bipennati.
Origine: con due capi tendinei dalle superfici adiacenti delle diafisi delle ossa metatarsali.
Inserzione: a eccezione del primo interosseo che origina dal primo e secondo metatarsale e che si inserisce nella superficie mediale della falange prossimale del II dito, gli altri trovano inserzione nella faccia laterale delle falangi prossimali rispettivamente del II, III e IV dito.
Azione: la loro funzione è di abduttori, anche se i movimenti di spostamento laterale e mediale delle dita del piede sono estremamente limitati.

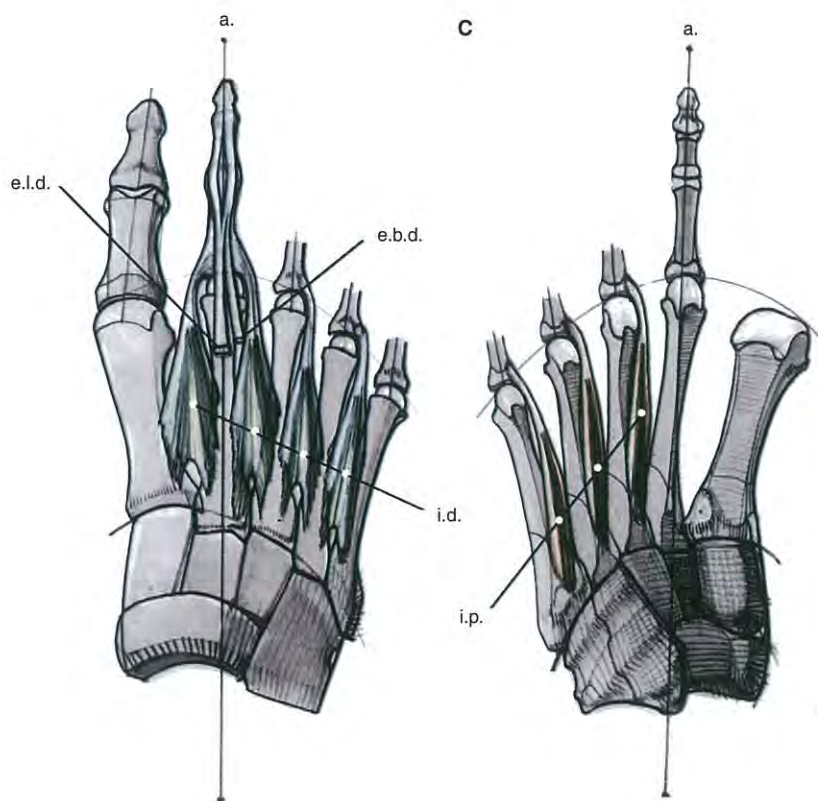



Fig. C
Visione dorsale e plantare della porzione scheletrica anteriore del piede destro con l'apparato muscolare del primo strato profondo.
a. asse longitudinale del piede
i.d. interossei dorsali
i.p. interossei plantari

Secondo strato profondo

Regione del margine mediale

Fanno parte di questo strato profondo i muscoli che rivestono e formano il "pavimento" muscolare del margine mediale del piede. Sono il flessore breve dell'alluce e l'adduttore dell'alluce.

Flessore breve dell'alluce (Tav. I, Figg. D, E)
È un muscolo composto da due ventri muscolari e ha origine da un tendine a sua volta suddiviso in due lacci tendinei che conferiscono all'insieme una forma a Y (Fig. E).
Origine: dalla superficie plantare del cuneiforme mediale, con il laccio o capo laterale dal legamento plantare lungo. Il capo mediale si innesta al tendine del muscolo tibiale posteriore.
Inserzione: i due ventri muscolari mediale e laterale, mediante i loro capi tendinei, si inseriscono alla base della falange prossimale dell'alluce nei due lati a loro corrispondenti e inglobano nella loro porzione tendinea le due ossa sesamoidi situate nel lato plantare della testa articolare del primo metatarsale.
Azione: flette la falange prossimale dell'alluce.

Adduttore dell'alluce (Tav. I, Figg. D, F)
È un muscolo con due origini distinte e due ventri muscolari chiamati capo obliquo e capo trasverso, dato il loro andamento obliquo e trasverso e un'unica inserzione tendinea.
Origine: il capo obliquo dalla base del secondo, terzo e quarto osso metatarsale e, con una porzione tendinea superficiale, anche dalla guaina tendinea del muscolo peroneo lungo.
Il capo trasverso origina dai legamenti che avvolgono l'articolazione delle teste dei metatarsali con le falangi prossimali e dai legamenti trasversi del terzo, quarto e quinto osso metatarsale.
Inserzione: entrambi i ventri muscolari confluiscono in un tendine che si porta all'osso sesamoide laterale dell'articolazione metatarso-falangea dell'alluce. Il muscolo obliquo si unisce anche, con un fascio tendineo, al tendine del flessore breve dell'alluce.
Azione: avvicina l'alluce al II dito. Il capo trasverso ha inoltre la funzione di mantenere in tensione, agendo da tirante trasversale, l'andamento arcuato delle teste dei metatarsali, contrapponendosi all'azione di appiattimento del peso sull'avampiede (Fig. F).

Regione del margine laterale

La parte muscolare profonda di questa regione occupa nel piede, rivestendolo, il suo margine laterale e consta di un solo elemento muscolare: il flessore breve del V dito.

Flessore breve del V dito (Tav. I, Figg. D, E)
Origine: dalla base del quinto metatarsale e dalla guaina del tendine del peroneo lungo.
Inserzione: il suo ventre muscolare si sovrappone alla diafisi del quinto metatarsale e si inserisce alla superficie laterale della base della falange prossimale del V dito.
Azione: flette la falange prossimale del V dito.

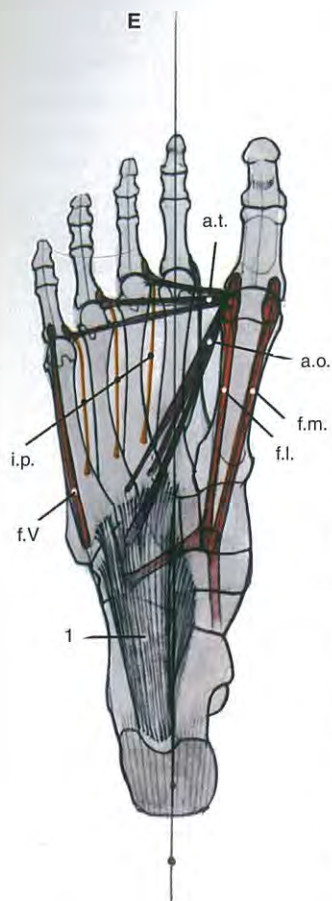



Fig. D
Visione plantare del piede destro con il sistema muscolare del secondo strato profondo.
f.m. flessore breve dell'alluce ventre mediale
f.l. flessore breve dell'alluce ventre laterale

a.o. adduttore dell'alluce capo obliquo
a.t. adduttore dell'alluce capo trasverso

f.V flessore breve del V dito
p.l. peroneo lungo (tendine)
t.p. tibiale posteriore (tendine)
1. legamento plantare lungo

Fig. E
Visione plantare del piede destro. Origini, inserzioni e traiettorie muscolari del primo e secondo strato profondo.
i.p. interossei plantari

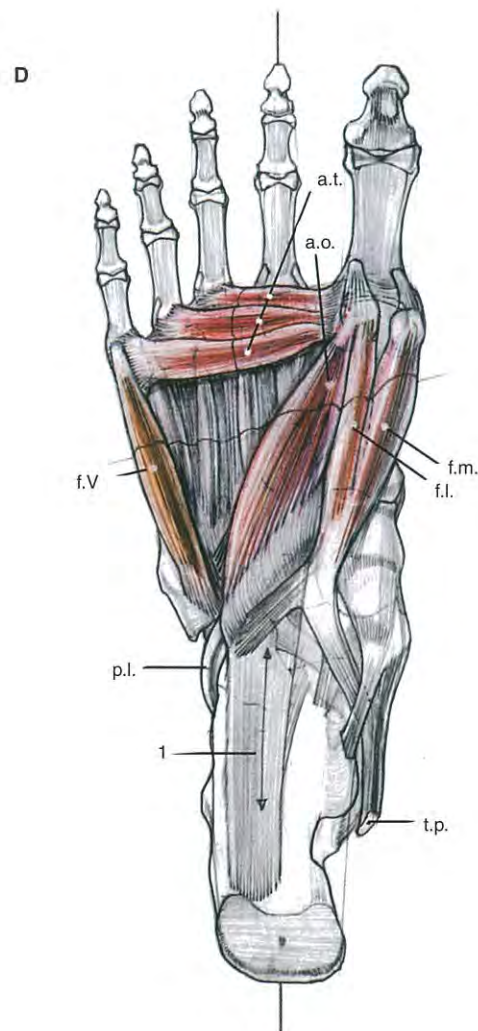
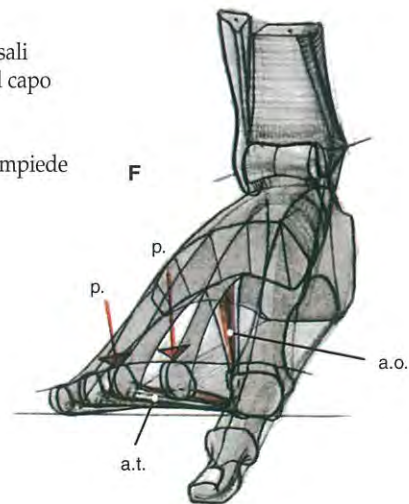



Fig. F
Arcata delle teste metatarsali mantenuta in tensione dal capo trasverso dell'adduttore dell'alluce.
p. carico del peso sull'avampiede

Tav. II

REGIONE INTERMEDIA

Questo strato comprende i quattro muscoli lombricali e il quadrato della pianta che occupano, nel piano medio, l'arcata centrale del piede.

I muscoli lombricali (Tav. II, Figg. A, B)

Sono quattro piccoli muscoli fusiformi accessori dei tendini del flessore lungo delle dita.

Origine: il primo muscolo, a partire dal lato mediale, ha origine dal margine mediale del primo dei quattro tendini del muscolo flessore lungo delle dita. Gli altri tre muscoli lombricali originano dall'ascella tendinea, formata da due tendini adiacenti del flessore lungo.

Inserzione: con i loro capi tendinei si innestano nel lato mediale delle espansioni digitali dorsali delle falangi prossimali del II, III, IV e V dito.

Azione: flettono le falangi prossimali.

Quadrato della pianta (Tav. II, Figg. A, C)

Origine: con due capi dal legamento plantare lungo. Il capo mediale, più sviluppato, origina dalla faccia mediale concava del calcagno. Il capo laterale, di natura tendinea, origina dal legamento plantare lungo davanti al processo laterale della tuberosità del calcagno.

Inserzione: si salda al margine laterale del tendine del flessore lungo delle dita.

Azione: si comporta da flessore accessorio delle dita correggendo la direzione di trazione del tendine del flessore lungo delle dita.

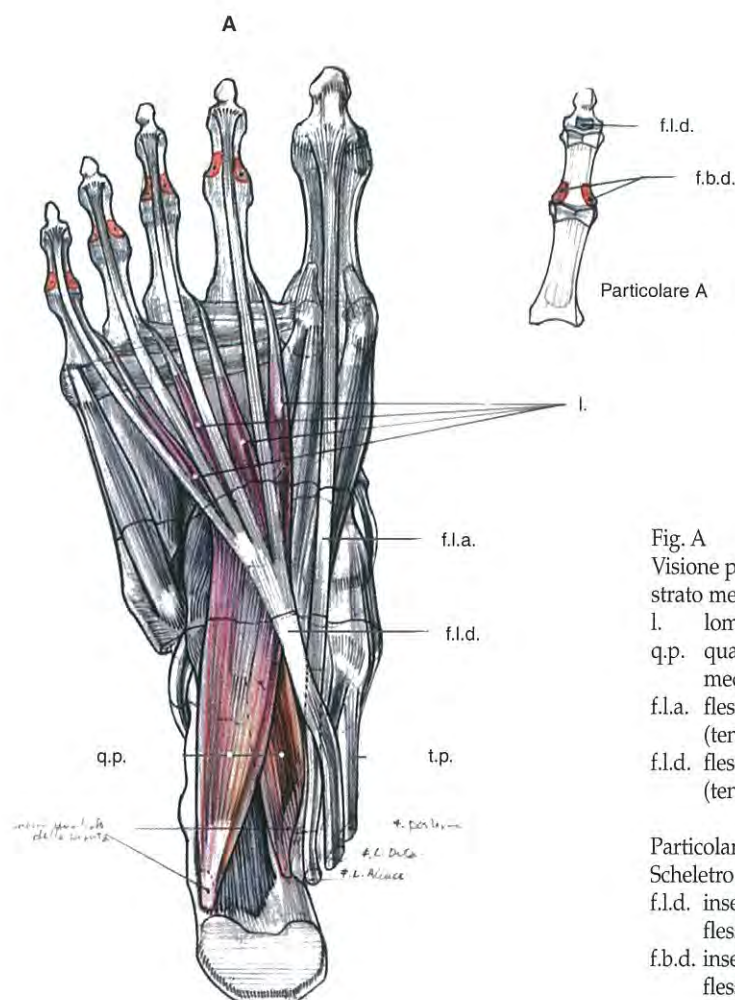



Fig. A
Visione plantare dei muscoli dello strato medio.
- l. lombricali
- q.p. quadrato della pianta (capo mediale e capo laterale)
- f.l.a. flessore lungo dell'alluce (tendine)
- f.l.d. flessore lungo delle dita (tendine)

Particolare Fig. A
Scheletro del II dito.
- f.l.d. inserzione tendinea del flessore lungo delle dita
- f.b.d. inserzione tendinea del flessore breve delle dita

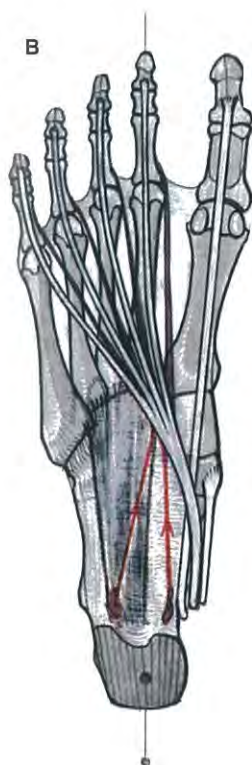
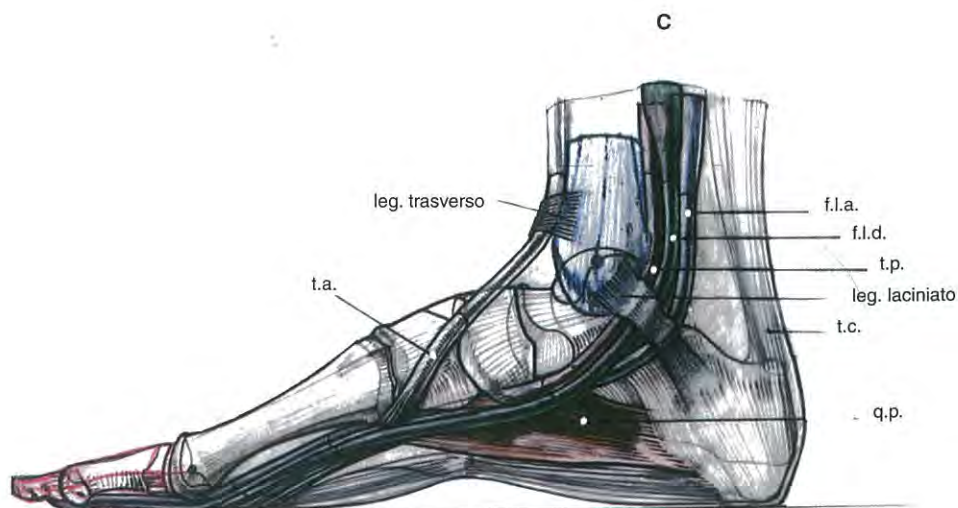



Fig. B
Origini, inserzioni e traiettorie muscolari dello strato medio.

Fig. C
Visione del profilo mediale.
Sistema muscolare e tendineo dello strato medio.
- q.p. quadrato della pianta (capo mediale)
- t.a. tibiale anteriore (tendine)
- t.c. tendine calcaneale

Strato superficiale

Questo strato comprende i seguenti muscoli: abduttore dell'alluce, che appartiene alla regione del margine mediale; flessore breve delle dita, che occupa la regione intermedia; abduttore del V dito, che riveste il margine laterale.

REGIONE DEL MARGINE MEDIALE

Abduttore dell'alluce (Tav. III, Figg. A, B)

Il suo ventre muscolare riveste tutto il margine mediale, dal calcagno al primo metatarsale.
Origine: dal legamento laciniato e dal processo mediale della tuberosità del calcagno.
Inserzione: i fasci muscolari confluiscono in un tendine che, insieme al tendine del flessore breve dell'alluce, si inserisce nel margine mediale della base della falange prossimale dell'alluce.
Azione: allontana l'alluce dal secondo dito.

REGIONE INTERMEDIA

Flessore breve delle dita (Tav. III, Figg. A, B)

Origine: con un tendine dal processo mediale della tuberosità del calcagno e dalla porzione intermedia dell'aponeurosi plantare (che lo riveste come una garza) e attraversa due setti intermuscolari (uno mediale e uno laterale) che dallo strato superficiale dell'aponeurosi si dirigono verso lo strato profondo isolando in tal modo i muscoli della regione intermedia dalle regioni adiacenti.
Inserzione: il ventre muscolare si divide in quattro fasci distinti che danno origine ai tendini i quali a loro volta, prima dell'inserzione, si suddividono in due laccetti tendinei che prendono inserzione ai due lati di ogni singola falange intermedia del II, III, IV e V dito, creando un anello tendineo attraverso il quale il tendine del flessore lungo delle dita passa e va a inserirsi alla falange distale.
Azione: flette la falange intermedia sulla falange prossimale.

REGIONE DEL MARGINE LATERALE

Abduttore del V dito (Tav. III, Figg. A, B, C)

Riveste il margine laterale, dal calcagno al quinto metatarsale.
Origine: dai processi della tuberosità del calcagno e dall'aponeurosi plantare, e dal setto intermuscolare che divide questo muscolo dal flessore breve delle dita.
Inserzione: assieme al flessore breve del V dito si inserisce alla superficie laterale della base della falange prossimale del V dito.
Azione: sposta lateralmente il V dito.

L'abduttore dell'alluce, il flessore breve delle dita e l'abduttore del V dito, come si è visto, occupano, nello strato superficiale, tutte e tre le regioni dell'area plantare e sono gli elementi muscolari evidenti che determinano il rilievo plastico; in modo particolare modellano i due margini mediale e laterale del piede.

Tav. III

Fig. B
Origini, inserzioni e traiettorie muscolari dello strato superficiale.

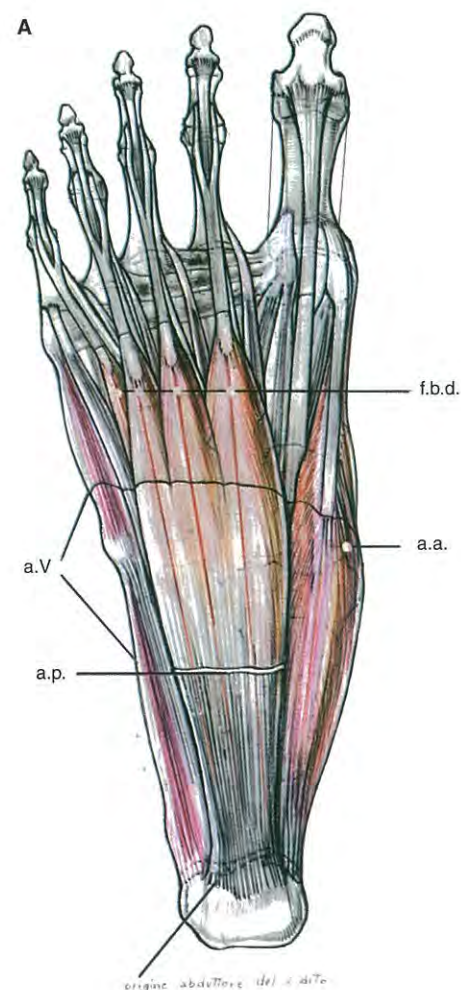



Fig. A
Visione plantare dei muscoli dello strato superficiale.
a.a. abduttore dell'alluce
f.b.d. flessore breve delle dita
a.V abduttore del V dito
a.p. aponeurosi plantare (sezionata)

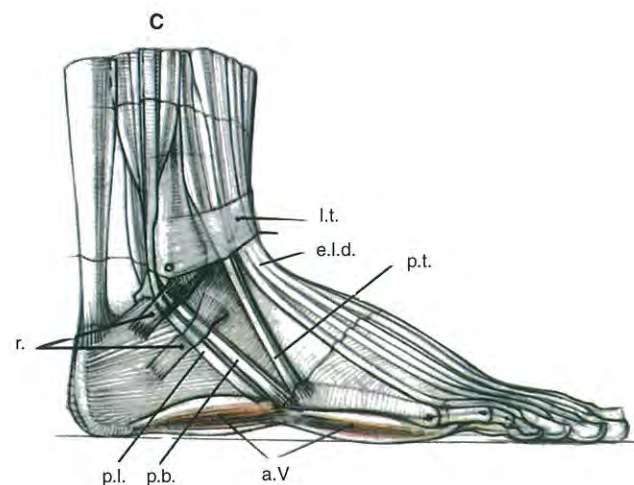
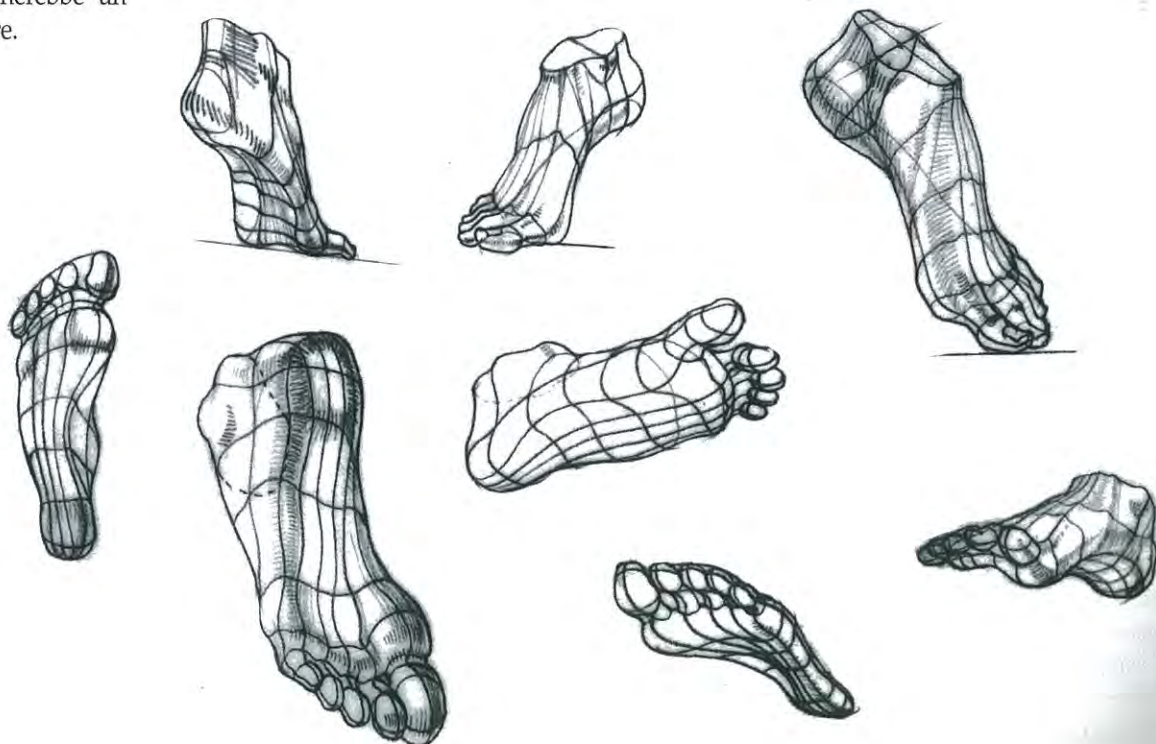
Fig. C
Visione del profilo laterale.
e.l.d. estensore lungo delle dita (tendine)
p.t. peroneo terzo (tendine)
p.l. peroneo lungo (tendine)
p.b. peroneo breve (tendine)
l.t. legamento trasverso
r. retinacolo superiore e inferiore per i tendini dei muscoli peronieri

Per quanto riguarda la regione intermedia, questa è ulteriormente ispessita da un rivestimento dovuto alla lamina fibrosa dell'aponeurosi plantare e dal cuscinetto plantare sottocutaneo.
L'aponeurosi plantare riveste come una garza l'apparato muscolare plantare di tutte e tre le regioni superficiali e, lungo il margine mediale e laterale, si unisce alla fascia di rivestimento dorsale del piede. Ma nell'area plantare intermedia essa è particolarmente spessa e robusta e agisce da vero e proprio tirante dell'arcata plantare, data la sua origine nel calcagno e la direzione longitudinale delle sue fibre che si inseriscono nell'avampiede all'altezza delle teste dei metatarsali.
Nella sua origine, a partire dal processo mediale della tuberosità del calcagno, l'aponeurosi è strettamente connessa al muscolo flessore breve delle dita che da essa è rivestito. La sua forma a lamina è ispessita da cinque nervature fibrose che percorrono la regione intermedia della pianta e raggiungono, aprendosi a ventaglio, le guaine dei tendini di rivestimento delle capsule articolari delle articolazioni tra le teste dei metatarsali e le falangi prossimali (Fig. D).
Inoltre, all'altezza dell'inserzione, e in senso trasversale, si espande con cinque briglie che collegano tra loro le sue cinque nervature fibrose mentre, verso la cute, si irradiano dei fasci fibrosi che delimitano le camere adipose del cuscinetto plantare.
Il cuscinetto plantare è formato dalle camere adipose che avvolgono le teste dei metatarsali, le eminenze delle dita e, nell'area posteriore, il calcagno.
Lo spessore di questo cuscinetto, più sottile sotto l'arcata mediale del piede, aumenta notevolmente nel calcagno dove può raggiungere i due centimetri. La sua funzione è di distribuire la pressione del corpo su tutta la pianta del piede che altrimenti, gravando in un solo punto, provocherebbe un dolore insopportabile e impedirebbe di camminare.

Fig. D
Rivestimenti fibrosi del piede.
a.p. aponeurosi plantare
b. briglie
g.c. guaina crociata
g.a. guaina anulare
c. cuscinetti plantari

FUNZIONI MUSCOLARI DELL'ARTO INFERIORE NELLE SEQUENZE DEL PASSO

Nella dinamica della deambulazione del passo il ruolo dei muscoli è duplice: di propulsione del corpo e di costante controllo della sua condizione di equilibrio.
I muscoli che permettono l'avanzamento del corpo umano nello spazio sono numerosi. Alcuni operano contemporaneamente e collaborativamente, e sono detti muscoli sinergisti; altri si attivano in successione, o in contrasto, e sono detti muscoli antagonisti.
La maggior parte dei movimenti del passo è frutto dell'alternarsi di contrazioni e decontrazioni di masse muscolari antagoniste.
In questa lezione studieremo quindi i comportamenti delle masse muscolari dell'arto inferiore, considerato ora come arto portante ora come arto oscillante, propri dell'andatura del passo.

FASE I: DOPPIO APPOGGIO

Nella fase di doppio appoggio, il piede – che nel nostro disegno è il destro (Tav. I) – incontra il suolo con la sua parte posteriore, cioè con il tallone, iniziando la funzione di arto portante mentre il piede sinistro è ancora appoggiato al suolo in piena azione di spinta del corpo.
Gli apparati muscolari che in questa fase di movimento sono attivi nell'arto destro sono il gruppo dei muscoli anteriori della gamba o gruppo degli estensori del piede (Fig. A), e il gruppo muscolare anteriore della coscia con il complesso muscolare del quadricipite (Figg. B, C). Il gruppo degli estensori è composto da quattro elementi muscolari distinti: l'estensore lungo dell'alluce, l'estensore lungo delle dita, il peroneo terzo e il tibiale anteriore.
La loro funzione complessiva è quella di avvicinare il dorso del piede al segmento della gamba, agendo così da flessori dorsali del piede. In questo modo contrastano la spinta di impatto del piede al suolo evitandone l'appoggio brusco dovuto al peso del corpo che grava sull'area posteriore del piede, area che con il tallone diventa a sua volta il perno di movimento di appoggio della pianta del piede al suolo, portandolo nella condizione di pieno appoggio (vedi Fase II).
La loro azione frenante è resa possibile dai due estensori lunghi delle dita e dell'alluce sull'avampiede che mantengono in estensione dorsale le dita, mentre il peroneo terzo, in funzione di pronatore, tiene sollevato il margine laterale del piede predisponendolo all'appoggio.
Fondamentale è inoltre l'azione del tibiale anteriore, che ha la sua inserzione nel lato plantare delle ossa del primo cuneiforme e della base del primo metatarsale. Questo muscolo, contraendosi, agisce da supinatore e, sollevando l'arcata, mantiene in elevazione il margine mediale (Fig. A, part.). In tal modo esso controlla l'avvicinamento del dorso del piede alla gamba e bilancia l'azione di pronazione del peroneo terzo. Il suo tendine, in questo movimento, è visibile sotto la cute all'altezza della caviglia, a lato del margine anteriore della tibia.

In questa fase di movimento anche il gruppo muscolare anteriore della coscia, il quadricipite, svolge un'azione prevalentemente frenante. Il quadricipite (Fig. C) è un muscolo biarticolare che agisce sulle articolazioni del ginocchio e dell'anca; è costituito da quattro fasci muscolari, tre dei quali chiamati vasti (mediale, intermedio e laterale) che formano un robusto mantello muscolare avvolgente la diafisi del femore, da cui originano.

Tav. I

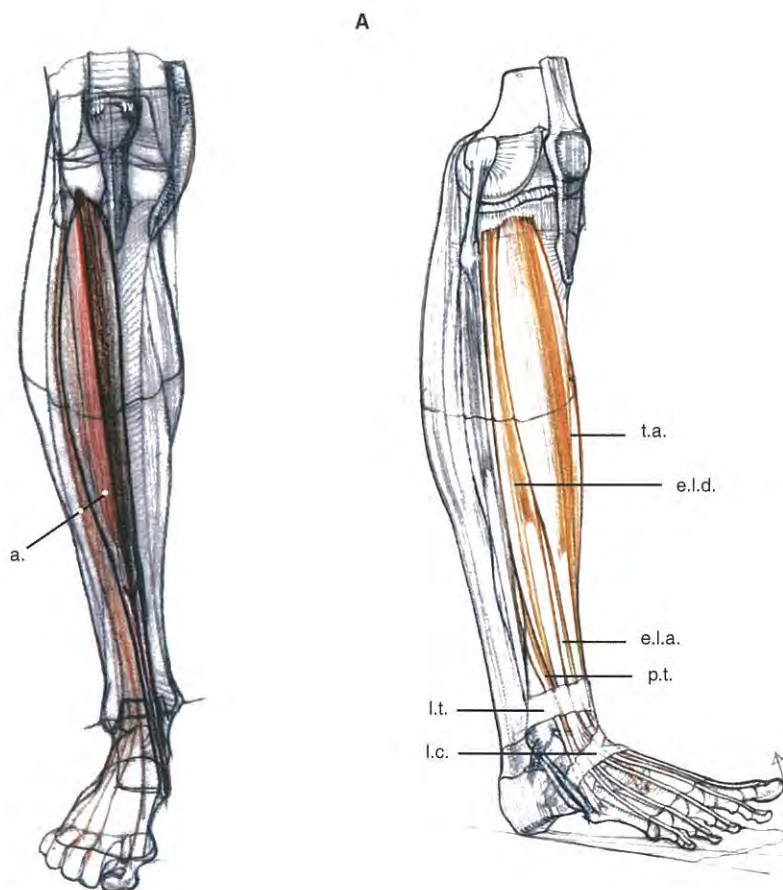



Fig. A
Visione frontale anteriore e antero-laterale dell'apparato muscolare della gamba.
a. gruppo dei muscoli anteriori della gamba
t.a. tibiale anteriore
e.l.d. estensore lungo delle dita
e.l.a. estensore lungo dell'alluce
p.t. peroneo terzo
l.t. legamento trasverso
l.c. legamento crociato

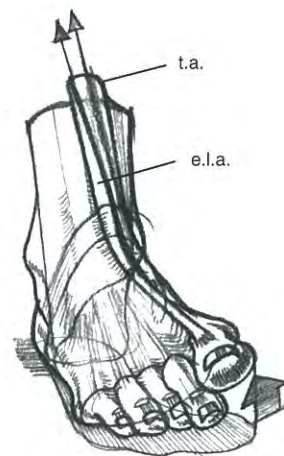
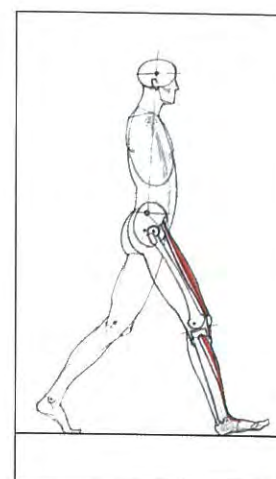
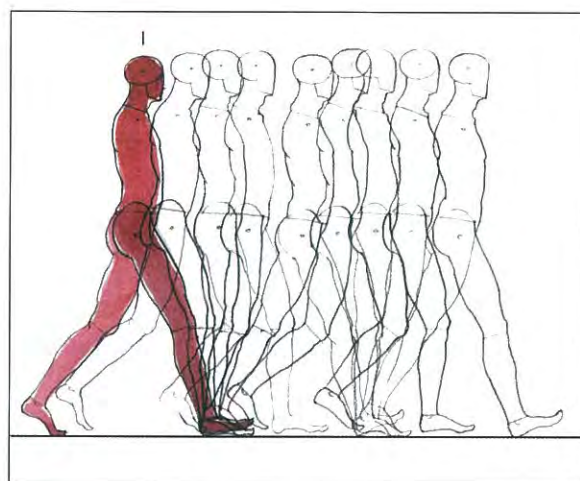



Fig. B
Fase I: doppio appoggio.
Sono evidenziati i muscoli attivi in questa fase:

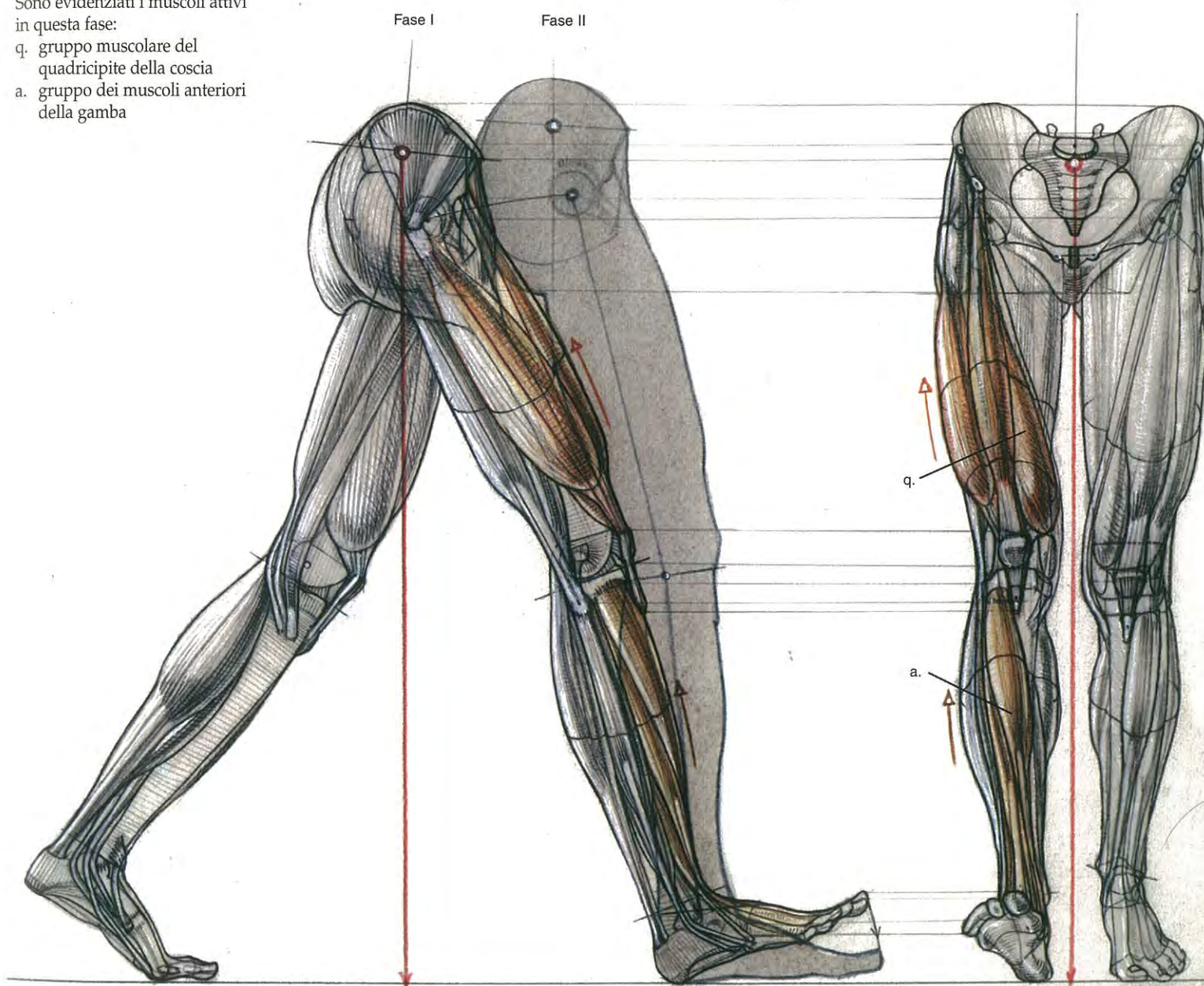
q. gruppo muscolare del quadricipite della coscia
a. gruppo dei muscoli anteriori della gamba

B

Fase I

Fase II

q.

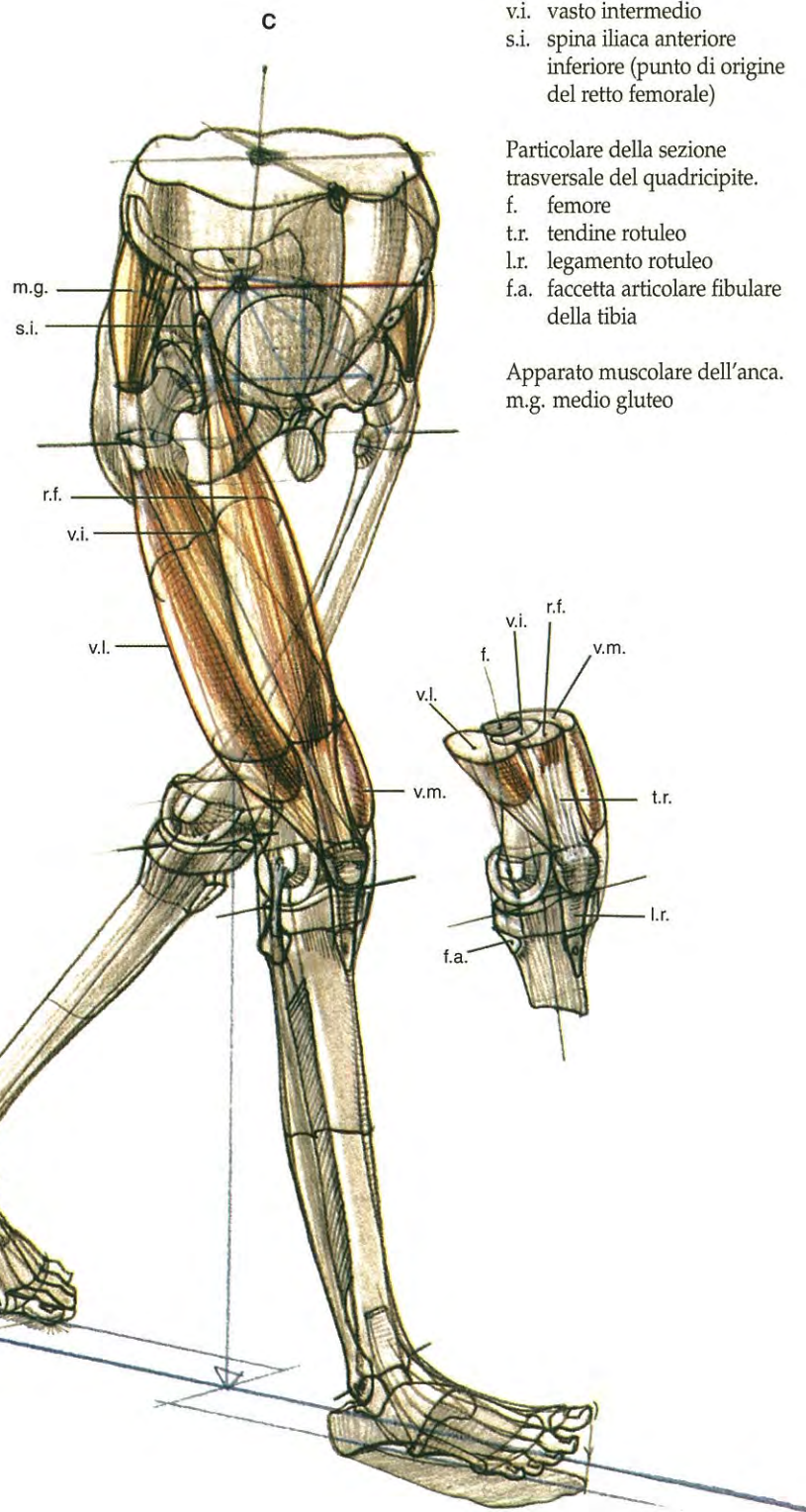
a.

Il quarto muscolo, detto retto femorale, origina invece dal bacino. Tutti e quattro i capi tendinei si inseriscono all'osso sesamoide del ginocchio (la rotula) e dallo stesso, mediante un legamento, si fissano al segmento scheletrico della gamba nella tuberosità tibiale.

Dei quattro capi, solamente il retto femorale origina dallo scheletro dell'anca agendo quindi su due articolazioni. Perciò oltre a essere, assieme ai vasti, un estensore del ginocchio, svolge anche il ruolo di flessore dell'anca.

L'azione prevalentemente frenante è determinata dal controllo che il gruppo muscolare del quadricipite esercita sul grado di estensione del ginocchio; in questa fase frena una eccessiva flessione della gamba causata dall'impatto al suolo del piede sul quale grava tutto il peso del corpo, garantendo un corretto assetto e un omogeneo appoggio della pianta del piede al suolo.

Fig. C
Apparato muscolare del quadricipite.
r.f. retto femorale
v.l. vasto laterale
v.m. vasto mediale
v.i. vasto intermedio
s.i. spina iliaca anteriore inferiore (punto di origine del retto femorale)

Particolare della sezione trasversale del quadricipite.
f. femore
t.r. tendine rotuleo
l.r. legamento rotuleo
f.a. faccetta articolare fibulare della tibia

Apparato muscolare dell'anca.
m.g. medio gluteo

tricipite della sura

Tav. II

Fase II: pieno appoggio

Ora il piede è in pieno appoggio al suolo ed entrano in azione i muscoli posteriori della gamba, i flessori plantari del piede. Incomincia anche il movimento di estensione dell'anca grazie all'attività dei suoi muscoli posteriori e laterali, i glutei (Fig. A), in contrazione sinergica con il gruppo muscolare posteriore della coscia, gli ischiocrurali.

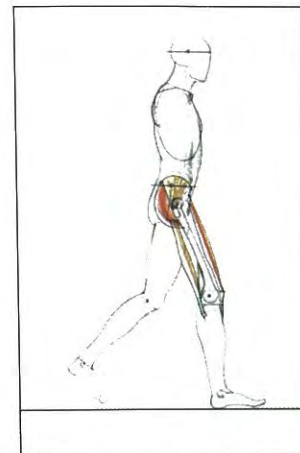
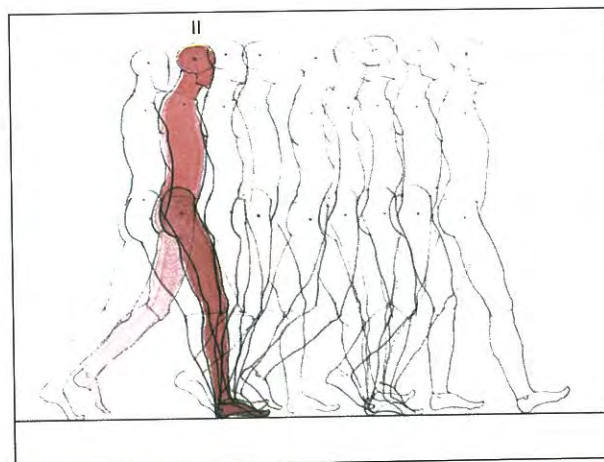



Fig. A
Fase II: appoggio unilaterale dell'arto destro e fase oscillante del sinistro.
Al momento dello stacco dell'arto sinistro dal suolo, il bacino subisce una leggera inclinazione laterale per venire poi gradualmente sollevato in senso orizzontale dall'azione dei muscoli medio e piccolo gluteo e del tensore della fascia lata (vedi particolare Fig. A).
m.g. medio gluteo
t.f.l. tensore della fascia lata
f.l. fascia lata (tendine)

* Nel profilo non è rappresentato il vasto laterale per meglio distinguere il retto femorale e il bicipite capo lungo e capo breve (b.c.l. e b.c.b.).

A

Fase II

m.g.

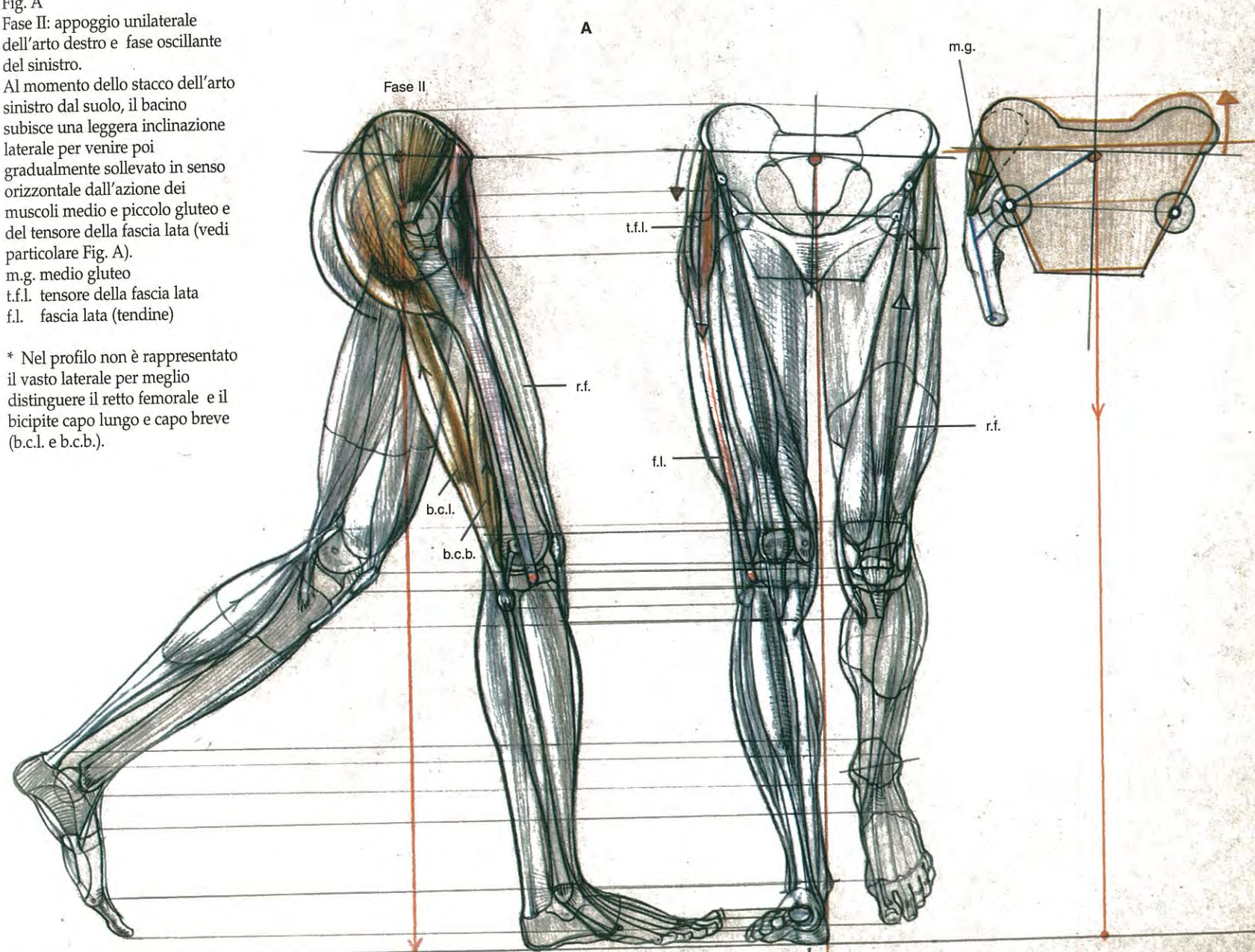
t.f.l.

r.f.

f.l.

r.f.

b.c.l.

b.c.b.

I muscoli posteriori della gamba iniziano la loro contrazione nel momento del pieno appoggio e la loro azione aumenta di intensità durante tutta la sequenza di arto portante fino al distacco del piede dal suolo.
Questi muscoli appartengono a due gruppi distinti della gamba: i flessori profondi, cioè il tibiale posteriore, il flessore lungo dell'alluce e il flessore lungo delle dita; e i muscoli del polpaccio riuniti nel tricipite della sura, formato dai due muscoli gastrocnemi e dal muscolo soleo.
Questi elementi muscolari però, date le loro caratteristiche e funzioni diverse, non agiscono contemporaneamente e durante tutta la fase di arto portante. Così, se nel momento iniziale dell'appoggio (Fase II) si attiva la contrazione del tibiale posteriore, nella fase di derotazione del piede che porta al distacco del tallone dal suolo (Fase IV) entrano in azione il flessore lungo delle dita e il tricipite della sura. Nella Fase V, quella finale, di vera e propria spinta, al tricipite della sura, che esprime ora il massimo dell'azione essendo il flessore plantare più potente, si unisce il flessore lungo dell'alluce con la funzione di controllo direzionale della spinta stessa.
Soffermandoci ora sulla Fase II di inizio del pieno appoggio, possiamo notare come il tibiale posteriore, muscolo supinatore, agisca in modo tale che, sollevando verso l'alto e l'esterno il margine mediale del piede, imprime a esso un movimento rotatorio con compressione del margine opposto, cioè il laterale, permettendo una maggiore aderenza del piede stesso al suolo.
Nella Fase II entrano in azione anche i glutei grande, medio e piccolo, e gli ischiocrurali (Fig. D). Il grande gluteo, muscolo posteriore dell'anca, in particolare, agisce da estensore della stessa; e non a caso, essendo un muscolo essenziale della stazione eretta dell'uomo. Esso entra in azione quando il centro di gravità del corpo tende a spostarsi in avanti, onde frenare l'inclinazione del bacino e impedire l'eccessivo sbilanciamento del corpo (Fig. C).

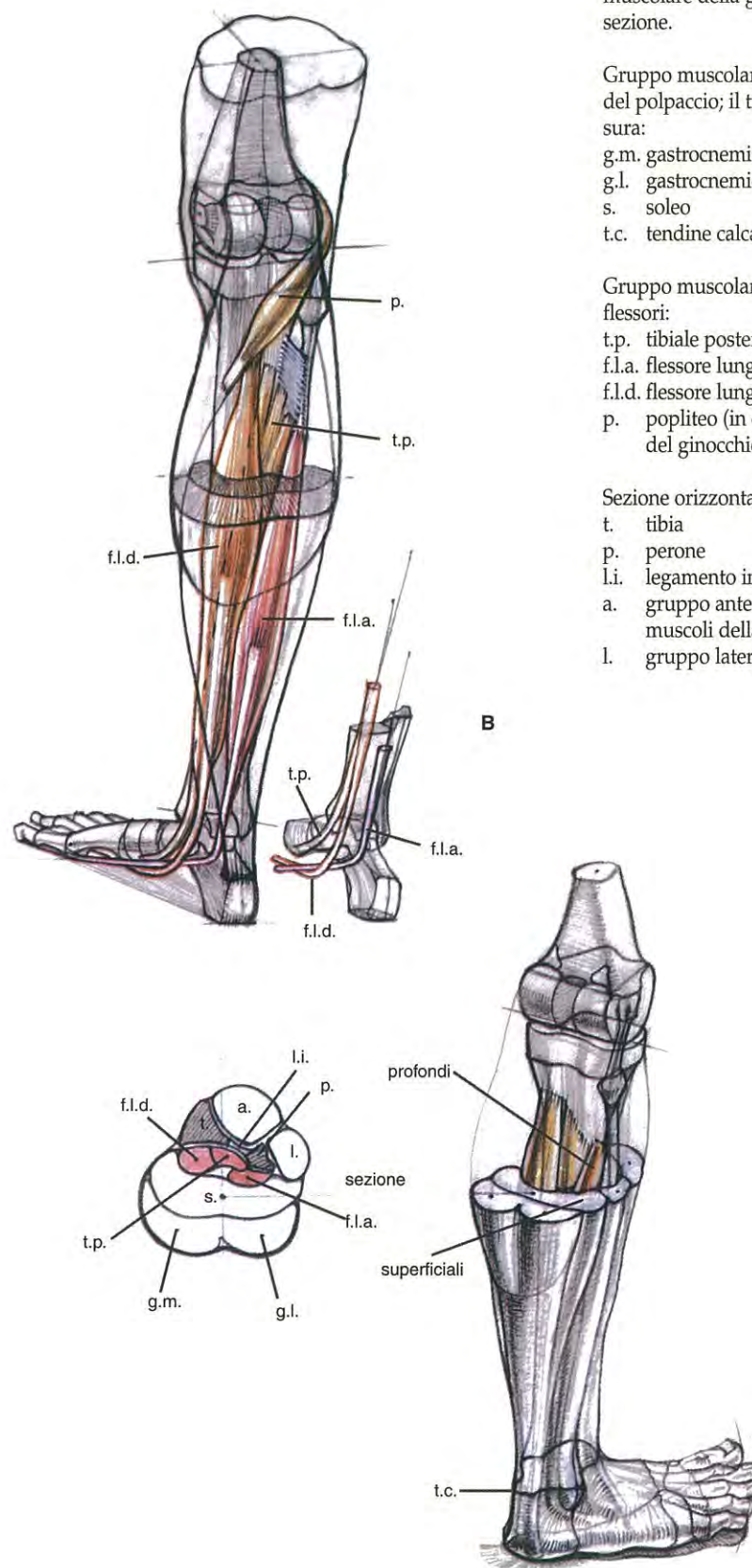



Fig. B
Visione postero-mediale e postero-laterale dell'apparato muscolare della gamba in sezione.

Gruppo muscolare superficiale del polpaccio; il tricipite della sura:
g.m. gastrocnemio mediale
g.l. gastrocnemio laterale
s. soleo
t.c. tendine calcaneale

Gruppo muscolare profondo dei flessori:
t.p. tibiale posteriore
f.l.a. flessore lungo dell'alluce
f.l.d. flessore lungo delle dita
p. popliteo (in corrispondenza del ginocchio)

Sezione orizzontale della gamba:
t. tibia
p. perone
l.i. legamento interosseo
a. gruppo anteriore dei muscoli della gamba
l. gruppo laterale

Per quanto riguarda il medio e piccolo gluteo, essi hanno l'importante funzione di fissare il bacino sull'arto portante. A ciò concorrono tutte le fibre del medio e piccolo gluteo, ma in particolare i fasci di fibre che, con andamento verticale, corrono dalla cresta iliaca al grande trocantere. Questa "fissazione" del bacino al femore dell'arto portante impedisce che il bacino si inclini troppo dalla parte dell'arto oscillante sbilanciando il tronco; essi anzi tendono a inclinare leggermente il bacino dalla parte dell'arto portante mantenendo in questo modo il baricentro entro la superficie d'appoggio, e permettendo inoltre all'arto oscillante una maggiore libertà di movimento rispetto al suolo. È possibile avvertire questa contrazione grazie al rilievo del medio gluteo sulla cute.

L'altro grande gruppo in azione in questa fase è quello dei muscoli posteriori della coscia, gli ischiocrurali, comprendenti il bicipite femorale, il semimembranoso e il semitendinoso. Questi muscoli che interessano nell'azione due articolazioni flettono il ginocchio ed estendono l'anca (Fig. D). Essi perciò possono muovere il bacino e la gamba, oppure coscia e gamba insieme. Nel nostro caso specifico, fintanto che l'articolazione del ginocchio è fissata in estensione dal quadricipite, i muscoli ischiocrurali, assieme al grande gluteo, estendono il bacino impedendo uno sbilanciamento in avanti del tronco.

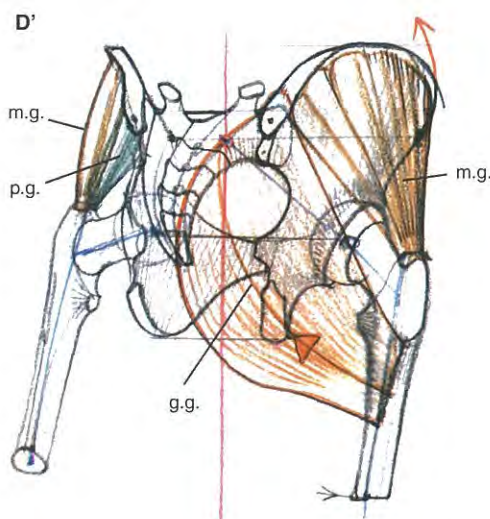



Fig. D'
Visione postero-laterale dell'apparato scheletrico e muscolare dell'anca.
Nell'azione di estensione del bacino entrano in funzione i muscoli grande gluteo, i medi e piccoli glutei.
Gli ultimi due inoltre mantengono in equilibrio trasversale il bacino, essendo disposti lateralmente.
p.g. piccolo gluteo

Fig. C
Profilo laterale dello scheletro dell'anca.
Sequenza di estensione del bacino sul femore determinata dalla contrazione del muscolo grande gluteo.

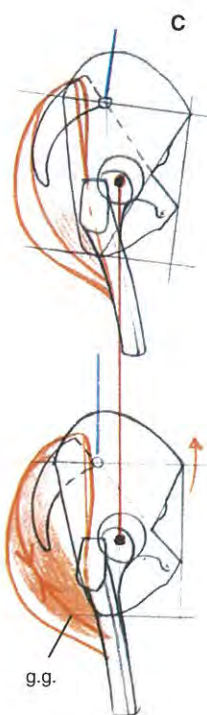
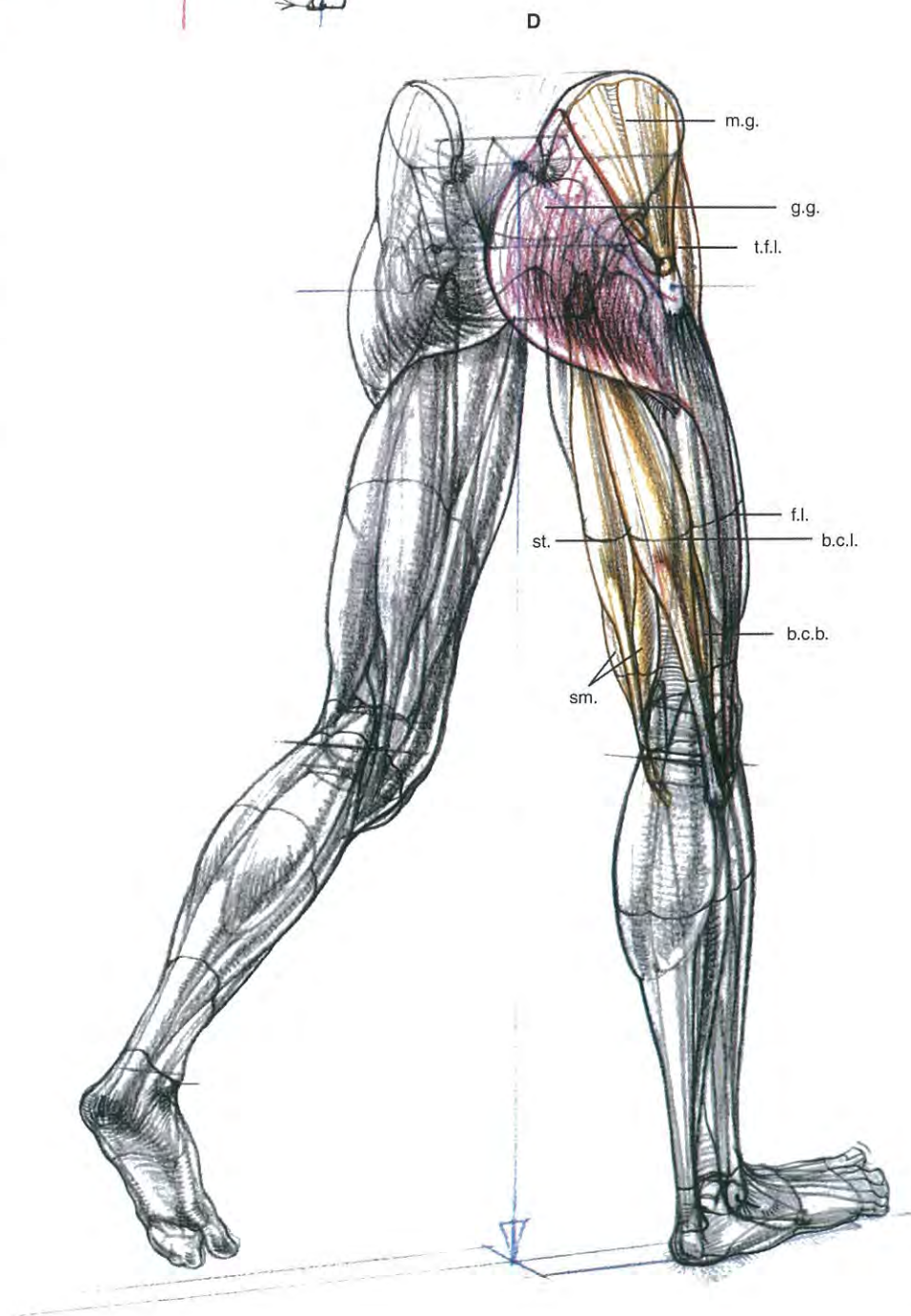
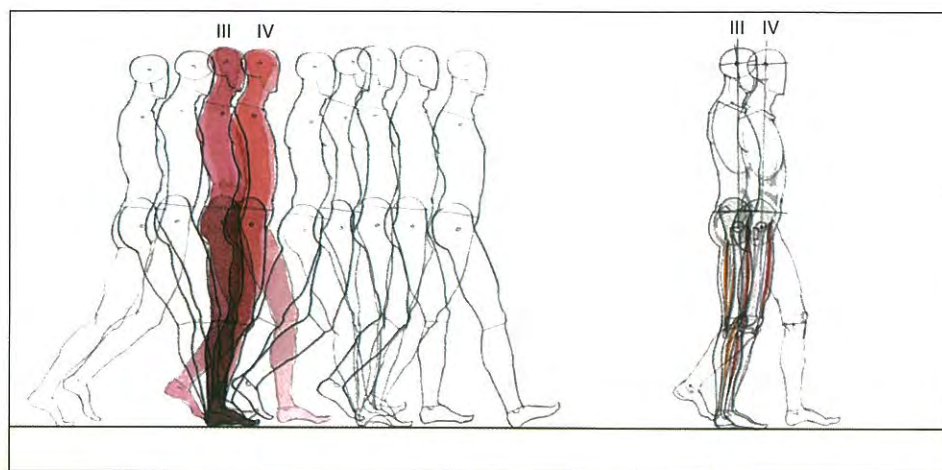



Fig. D
Rilievo plastico dei muscoli dell'anca e dei muscoli ischiocrurali della coscia che conferiscono rilievo plastico all'arto.
g.g. grande gluteo
m.g. medio gluteo
t.f.l. tensore della fascia lata
f.l. fascia lata (tendine)
st. semitendinoso
sm. semimembranoso
b.c.l. bicipite capo lungo
b.c.b. bicipite capo breve

I tre muscoli ischiocrurali hanno origine dalla tuberosità ischiatica del bacino.

Fase III: pieno appoggio

In questa fase il tronco e l'arto portante sono allineati su di un asse verticale, e questo movimento è consentito dal grande gluteo e dai muscoli anteriori e posteriori della coscia, che permettono un movimento di estensione sia all'anca sia al ginocchio (Fig. A).
L'articolazione del ginocchio e dell'anca è essenzialmente dominata dai muscoli biarticolari anteriori, che costituiscono il gruppo muscolare del quadricipite, e posteriori della coscia con il gruppo degli ischiocrurali; di conseguenza le due articolazioni sono obbligate a cooperare fra loro nelle posizioni estreme. Infatti se, a ginocchio esteso, un movimento che coinvolga il bacino inclina in avanti il tronco, i muscoli ischiocrurali si tendono determinando un movimento di flessione al ginocchio, mentre, anteriormente, il retto femorale si distende (Fig. B_1).
Viceversa, con un'inclinazione posteriore del tronco che coinvolga nel movimento anche il bacino, il retto femorale entra in tensione aumentando la sua azione di estensione del ginocchio, che a sua volta causa la distensione dei muscoli ischiocrurali (Fig. B_2).
Ecco allora che in condizioni estreme si possono avere simultaneamente flessione ed estensione dell'anca associate rispettivamente a flessione ed estensione del ginocchio.
Questa attività coerente dei sistemi articolari e dei muscoli è alla base dei meccanismi che sovrintendono alla deambulazione dell'uomo.

Tav. III

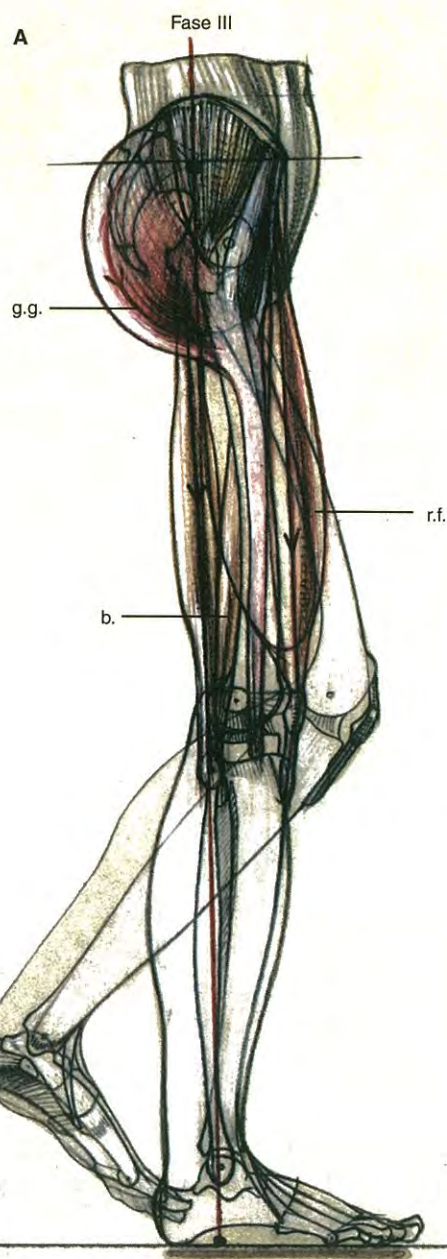



Fig. A
Stabilizzazione dell'arto portante nel completo appoggio sul piede. I muscoli che contribuiscono a estendere l'anca sulla coscia, e la coscia sul ginocchio:
g.g. grande gluteo
b. bicipite
r.f. retto femorale

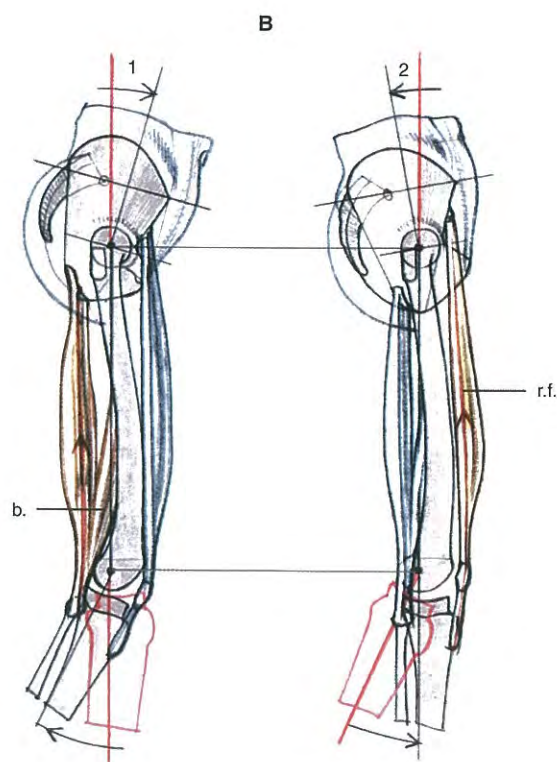



Fig. B
Azione biarticolare dei muscoli della coscia esercitata sull'articolazione dell'anca e del ginocchio.

1. inclinazione anteriore del bacino (antiflessione). Il bicipite b. (ischiocrurale) determina la flessione del ginocchio
2. inclinazione posteriore del bacino (retroflessione). Il retto femorale r.f. (capo del quadricipite) determina l'estensione del ginocchio

Fase IV: pressione e spinta

La contrazione del tricipite della sura provoca il sollevamento del calcagno: inizia la fase di derotazione del piede al suolo (Tav. IV, Fig. A); continua l'azione dei muscoli flessori plantari con l'attivazione del flessore lungo delle dita e del gruppo laterale dei muscoli della gamba, i peronieri; ha inizio la fase di propulsione del corpo in avanti.
Contemporaneamente, l'anca si iperestende a opera dei muscoli glutei, mentre continua l'azione di mantenimento in estensione del ginocchio da parte del gruppo muscolare del quadricipite.

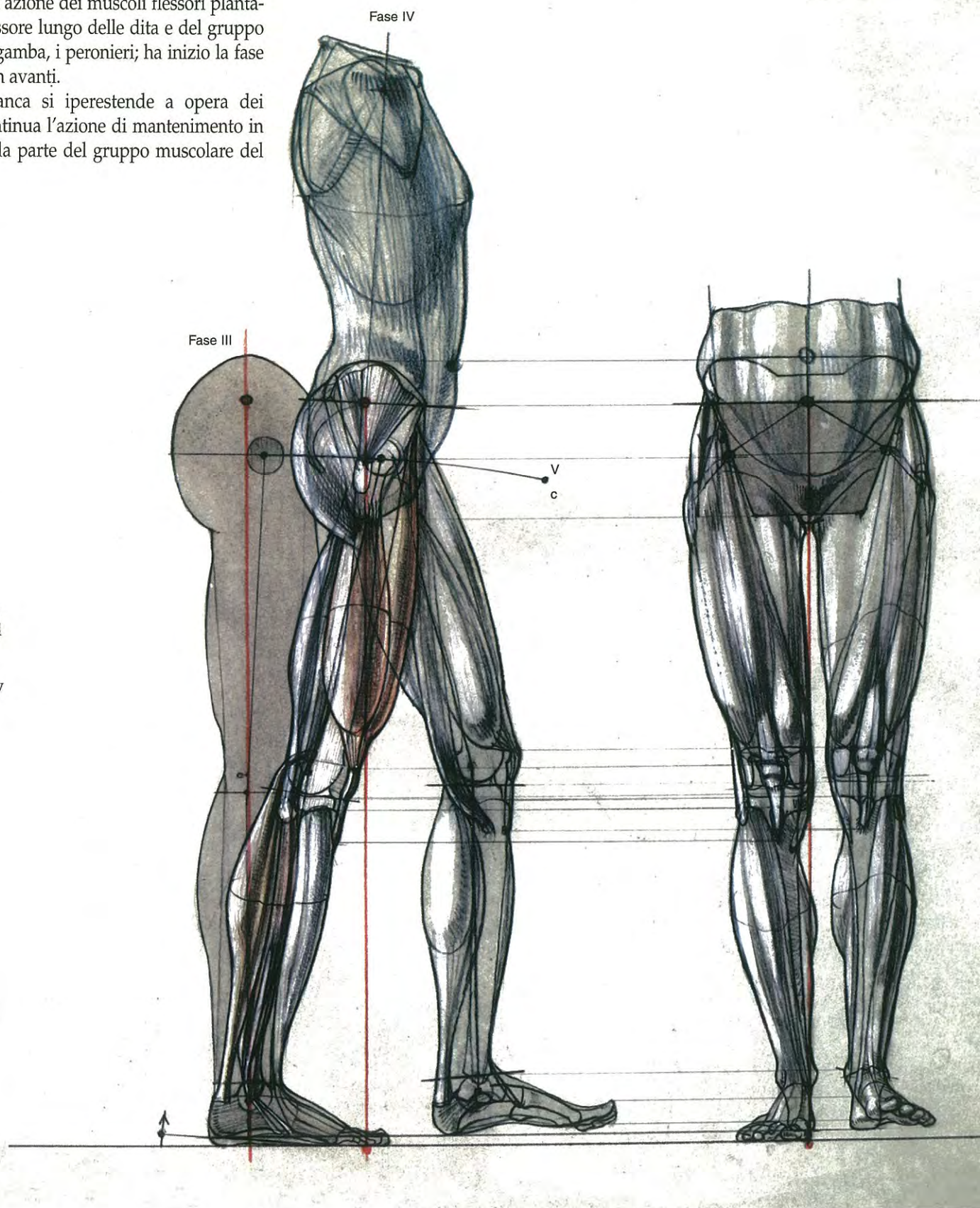
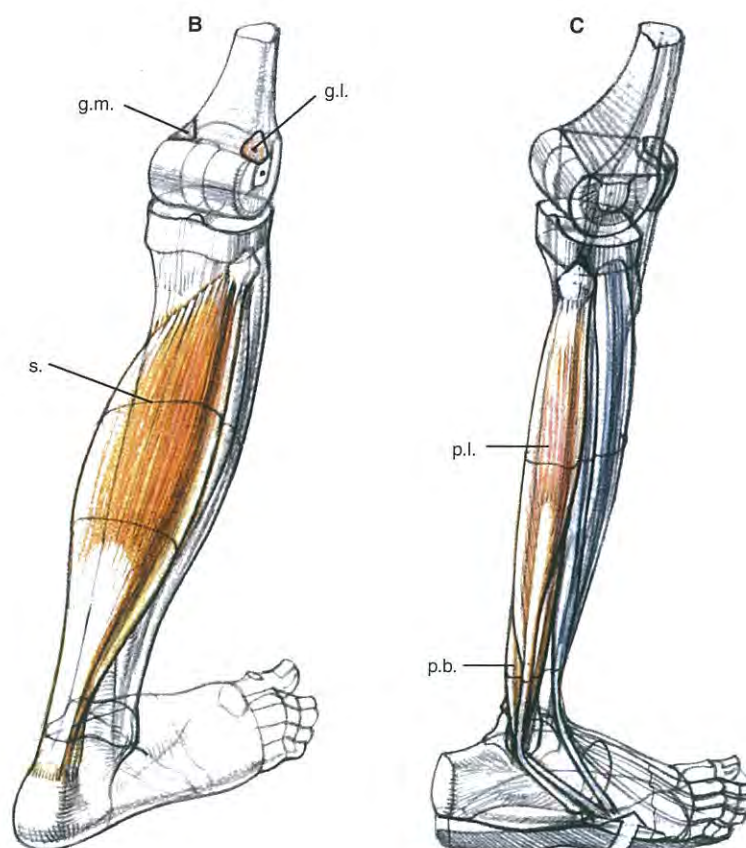
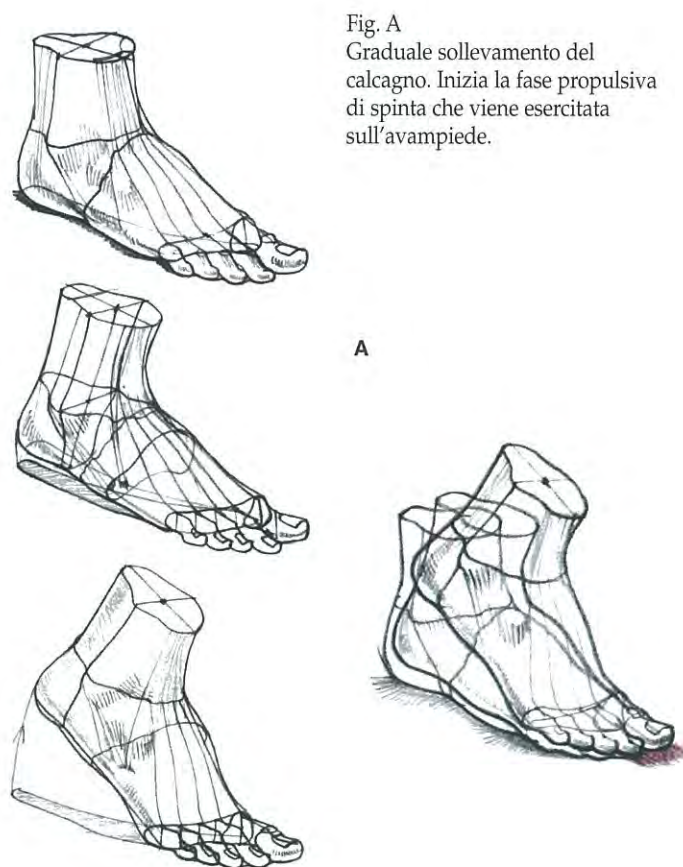
Fase IV
Avanzamento dell'anca e inizio del sollevamento del tallone del piede portante.
c. centro dell'anca in spostamento sino alla Fase V

Il tricipite della sura, o muscolo del polpaccio, composto da tre robusti elementi muscolari – il soleo e i due gastrocnemi – comprime l'avampiede al terreno determinando il sollevamento del corpo sulla punta del piede.
Analizzando in dettaglio le funzioni dei componenti del tricipite della sura, vediamo che il soleo, muscolo monoarticolare, agisce esclusivamente sulla leva del piede impedendo, come nella stazione eretta, l'inflessione della gamba in avanti. Ciò è dovuto al fatto che il soleo origina dal segmento scheletrico della gamba e forma, assieme ai due gastrocnemi, il tendine calcaneale, il quale trova inserzione nel calcagno (Fig. B). I due gastrocnemi, essendo invece muscoli biarticolari, oltre che sul piede agiscono anche sull'articolazione del ginocchio la quale, di conseguenza, condiziona l'efficacia del loro intervento.
Difatti nel nostro caso, dato che l'articolazione del ginocchio è fissata in estensione dal muscolo quadricipite, tutta l'azione dei due gastrocnemi si può esercitare con la massima efficacia sulla leva del piede; e più aumenta il movimento di estensione del ginocchio a opera del quadricipite più aumenta l'efficacia dei due muscoli biarticolari, che raggiungeranno la massima potenza di spinta del corpo nella fase immediatamente precedente al distacco del piede dal suolo (Fase V).
All'azione di compressione dell'avampiede al suolo da parte del tricipite va aggiunta l'azione sinergica del muscolo flessore lungo delle dita. Quest'ultimo flette in senso plantare le falangi del piede e permette una maggiore adesione delle dita al suolo, favorendo inoltre un maggiore controllo dell'equilibrio dell'appoggio del piede, dato che l'avampiede diventa, in questa fase, il solo fulcro del movimento di avanzamento del corpo.
Al sollevamento del tallone dal suolo concorrono anche i muscoli del gruppo laterale della gamba, i peronieri, lungo e breve. La loro duplice funzione di flessori plantari e di muscoli pronatori, porta sia alla compressione dell'avampiede al suolo, contribuendo così al sollevamento del tallone, sia al sollevamento del margine laterale del piede grazie al loro ruolo di pronatori (Fig. C). In tale modo i peronieri equilibrano la funzione supinatoria del tricipite della sura contribuendo al mantenimento del corretto assetto del piede di appoggio, e nel contempo migliorano l'efficacia dell'azione flessoria del tricipite della sura.

Fig. B
Origine del muscolo tricipite della sura sullo scheletro del femore, della tibia e del perone (non sono rappresentati il gastrocnemio mediale e il gastrocnemio laterale).
g.m. origine del gastrocnemio mediale
g.l. origine del gastrocnemio laterale
s. soleo

Fig. C
Visione latero-posteriore dello scheletro della gamba e del piede.
Muscoli laterali:
p.l. peroneo lungo
p.b. peroneo breve

Tav. IV

Fig. A
Graduale sollevamento del calcagno. Inizia la fase propulsiva di spinta che viene esercitata sull'avampiede.

Fase V: nuovo doppio appoggio

È la fase conclusiva della situazione di arto portante, nella quale il piede destro sviluppa la massima azione di spinta mentre il sinistro poggia al suolo con il tallone.
In questa fase i due muscoli gastrocnemi esprimono al massimo la loro azione propulsiva e tutto lo sforzo è concentrato sull'avampiede; entra così in contrazione il muscolo flessore lungo dell'alluce a completare l'azione dei flessori plantari (Fig. A, part.). Al picco d'azione dei flessori si aggiunge inoltre l'attività dei muscoli intrinseci del piede, i quali intervengono appieno in questa ultima fase dell'appoggio in corrispondenza con l'irrigidimento delle articolazioni del tarso, che permettono al piede di diventare una vera e propria leva di propulsione del corpo. Infatti il piede è ora ruotato medialmente e portato in supinazione, e quando esprime la massima potenza di leva le articolazioni intertarsiche sono completamente bloccate.
Il blocco dell'arcata plantare fa del piede un corpo rigido. A favore di questa azione, breve ma intensa, di sostegno e consolidamento dell'arcata del piede, riprende l'attività del muscolo supinatore, il tibiale anteriore, il quale anticipa una ripresa di attività di tutti gli estensori dorsali che si manifesterà nella fase iniziale di arto oscillante (Fase VI).
L'azione del flessore lungo dell'alluce diventa necessaria nel momento in cui il piede sta per staccare dal terreno, e la sua importanza è dovuta al fatto che flettendo l'alluce lo comprime al terreno; oppone quindi resistenza creando un punto fisso prima dello stacco. L'alluce è il punto finale del movimento di derotazione del piede e non a caso è dotato di muscolatura propria e particolarmente robusta.
Il muscolo flessore lungo dell'alluce, comunque, grazie al lungo tendine che passa al di sotto del margine mediale scheletrico del piede, agisce anche come efficace sostegno del piede stesso che tende longitudinalmente al suo margine. E passando anche nel tarso, dove trova un'adeguata sede nella doccia del sostentacolo del calcagno, il tendine del flessore esercita inoltre una spinta verso l'alto che impedisce uno sbilanciamento del calcagno verso l'interno, contribuendo così a direzionare la spinta propulsiva in avanti del corpo.

Tav. V

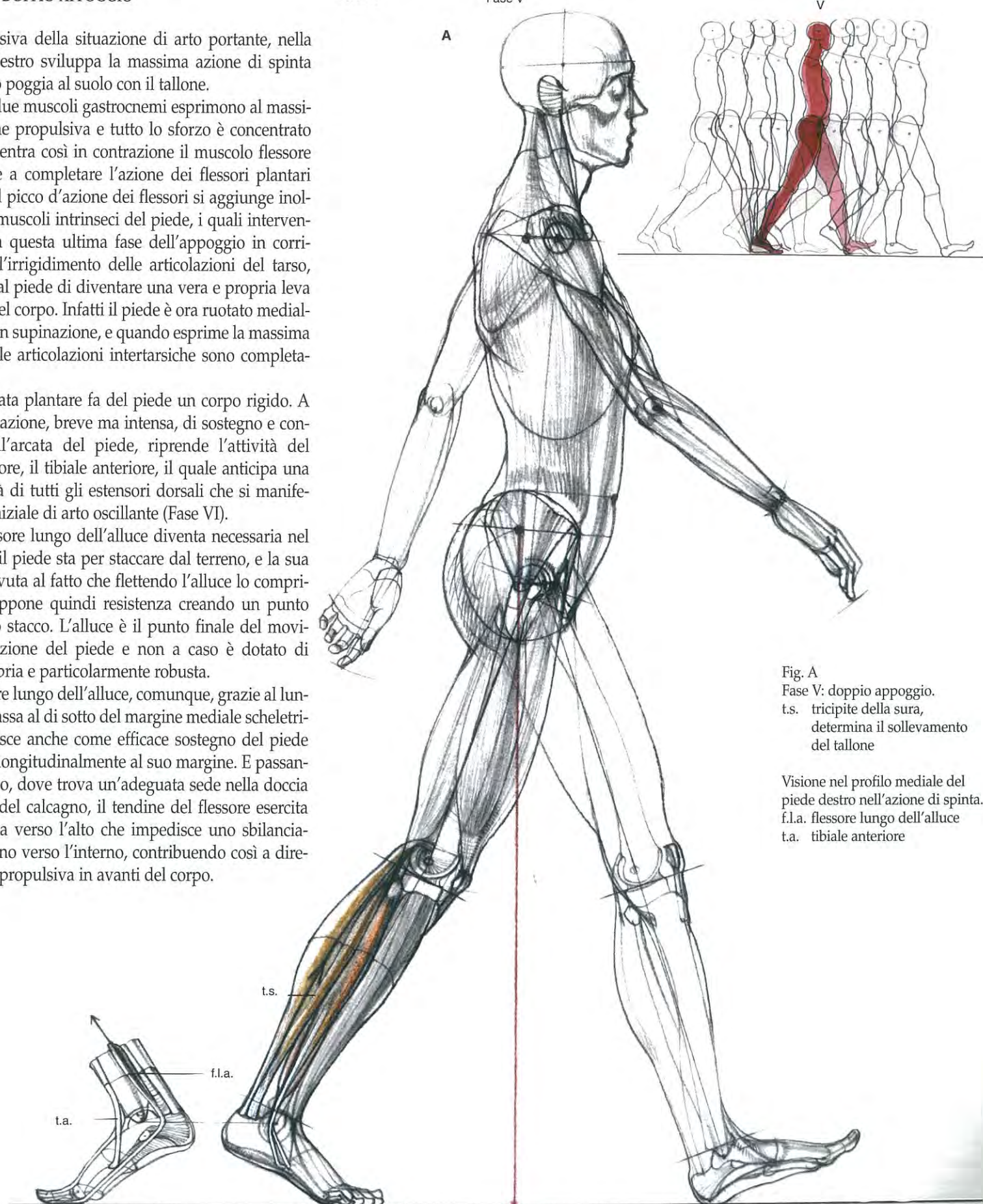



Fig. A
Fase V: doppio appoggio.
t.s. tricipite della sura, determina il sollevamento del tallone

Visione nel profilo mediale del piede destro nell'azione di spinta.
f.l.a. flessore lungo dell'alluce
t.a. tibiale anteriore

FASI VI, VII: ARTO OSCILLANTE

In questa Fase VI inizia il movimento pendolare dell'arto oscillante. L'arto destro, infatti, già sgravato da compiti di sostegno del corpo, deve prepararsi a riprendere le funzioni di arto portante, perciò deve avanzare rispetto al sinistro, su cui grava ancora il peso del corpo, predisponendosi al nuovo appoggio.

Questa azione è consentita dalla contrazione del gruppo muscolare interno dell'anca, l'ileopsoas, e del gruppo muscolare posteriore della coscia, cioè gli ischiocrurali.

L'ileopsoas è composto da due parti muscolari, il grande psoas e il muscolo iliaco. Il grande psoas è la porzione superiore di questo muscolo e origina al di sopra del bacino, dai corpi delle ultime vertebre dorsali e dalle prime vertebre lombari, nonché dai processi trasversi di tutte le vertebre lombari. Il suo tendine terminale, fondendosi con il tendine terminale del muscolo iliaco, si inserisce nel piccolo trocantere del femore. L'altra componente dell'ileopsoas è il muscolo iliaco che origina dalla superficie interna della fossa iliaca del bacino.

L'ileopsoas è un flessore sia della colonna vertebrale (ne aumenta l'inclinazione in avanti del tratto lombare) sia dell'anca (avvicina i due segmenti scheletrici del bacino e del femore). È dunque un muscolo importante della deambulazione poiché, portando il segmento del femore in avanti mediante la flessione, svolge un'attività primaria nel movimento pendolare dell'arto oscillante (Fig. C).

Il movimento di flessione dell'anca consente inoltre all'arto oscillante di sollevarsi e di passare davanti all'arto portante senza toccare il suolo. Al duplice movimento dell'arto oscillante contribuiscono i muscoli posteriori della coscia, il gruppo degli ischiocrurali che, agendo sull'articolazione del ginocchio, flettono la gamba, e permettono a un piede (come nella Fase VIII) di passare avanti all'altro.

Mentre al momento dello stacco il piede è quasi verticale e mantiene sino alla Fase VII una vistosa inclinazione, da questo momento esso si porta gradualmente in flessione dorsale preparandosi al nuovo appoggio con il tallone (Fig. B).

Questo movimento è controllato dai muscoli estensori della gamba e in particolare dal lavoro del muscolo tibiale anteriore.

Tav. VI

A

Fase VI

Fase VII

V

r.f.

b.

V

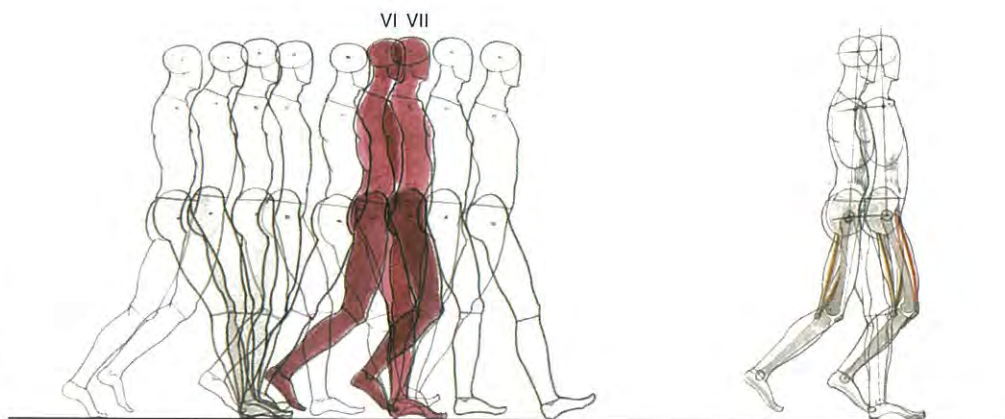
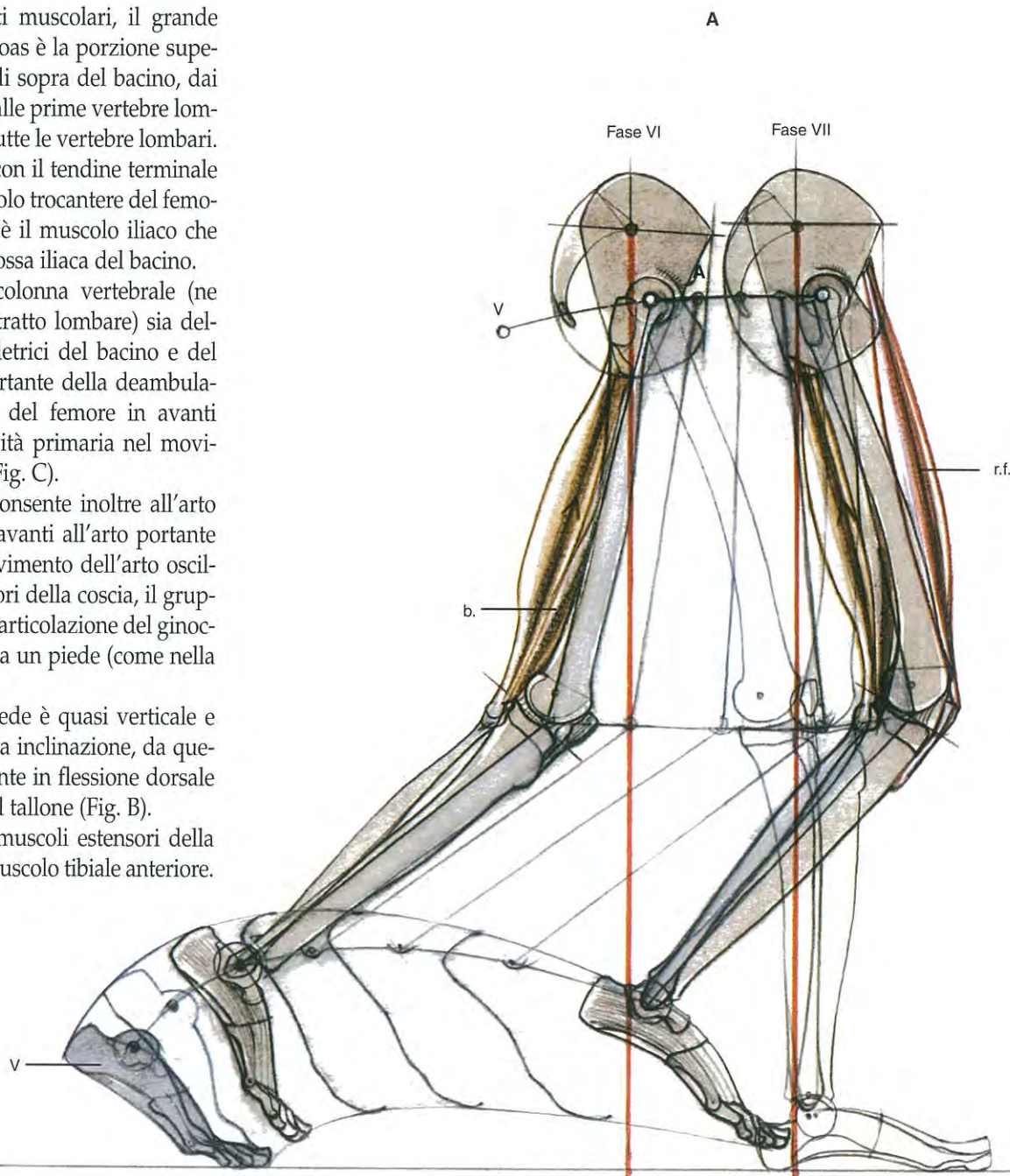



Fig. A
Traslazione dell'arto oscillante dalla Fase VI alla Fase VII. Traiettorie corrispondenti ai punti articolari dell'anca, del ginocchio, della caviglia (centro dell'astragalo) e del margine plantare del piede.
b. bicipite
r.f. retto femorale

Fase VIII: assestamento dell'arto oscillante

È la fase finale di oscillazione dell'arto inferiore, quando la gamba, per predisporsi al nuovo appoggio al suolo con il tallone, passa dalla flessione all'estensione. Questo movimento, detto di inversione, è compiuto in due momenti distinti, e con contributi muscolari differenti.

Il primo consiste nell'abbassamento della gamba fino a portarsi in posizione ortogonale rispetto al suolo e con il piede parallelo al suolo stesso; è determinato dalla forza di gravità dato che il baricentro della gamba è posto dietro all'articolazione del ginocchio, ed è assecondato dai muscoli ischiocrurali che rilasciano la gamba gradualmente.

Nella seconda fase del movimento, riprende ad agire il muscolo quadricipite che porta in estensione la gamba mentre i muscoli ischiocrurali controllano e arrestano l'estensione della stessa. La gamba in estensione forma con il piano orizzontale del suolo, nel punto di contatto del tallone (Fase IX), un angolo di circa 100-120°, e la coscia, a sua volta, un angolo aperto in avanti di 120-130°, per cui è quasi in linea con la gamba (Fig. B).

Fase IX: nuovo doppio appoggio

Si ripetono i meccanismi muscolari visti nella Fase I.

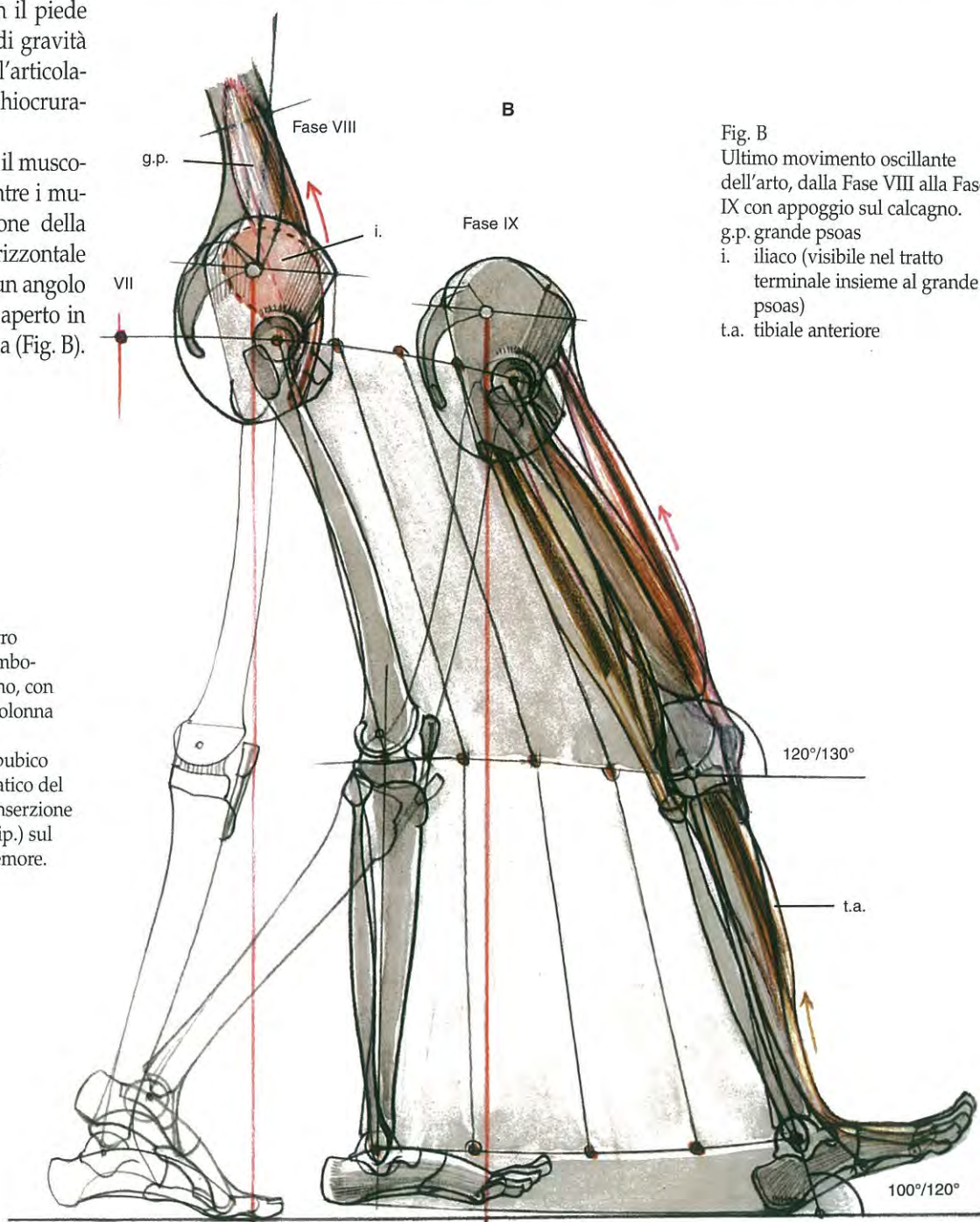
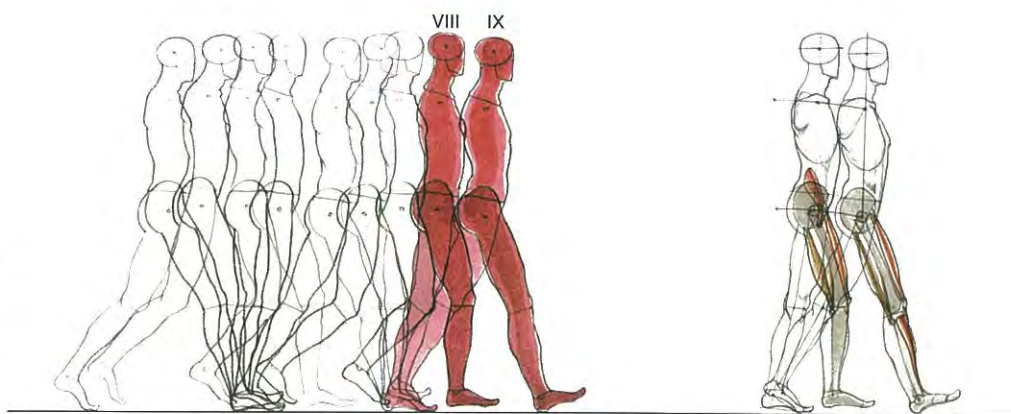



Fig. B
Ultimo movimento oscillante dell'arto, dalla Fase VIII alla Fase IX con appoggio sul calcagno.
g.p. grande psoas
i. iliaco (visibile nel tratto terminale insieme al grande psoas)
t.a. tibiale anteriore

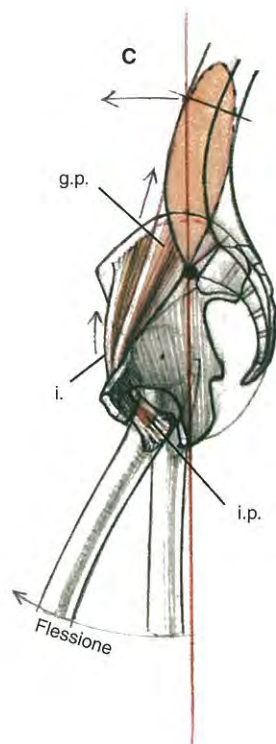
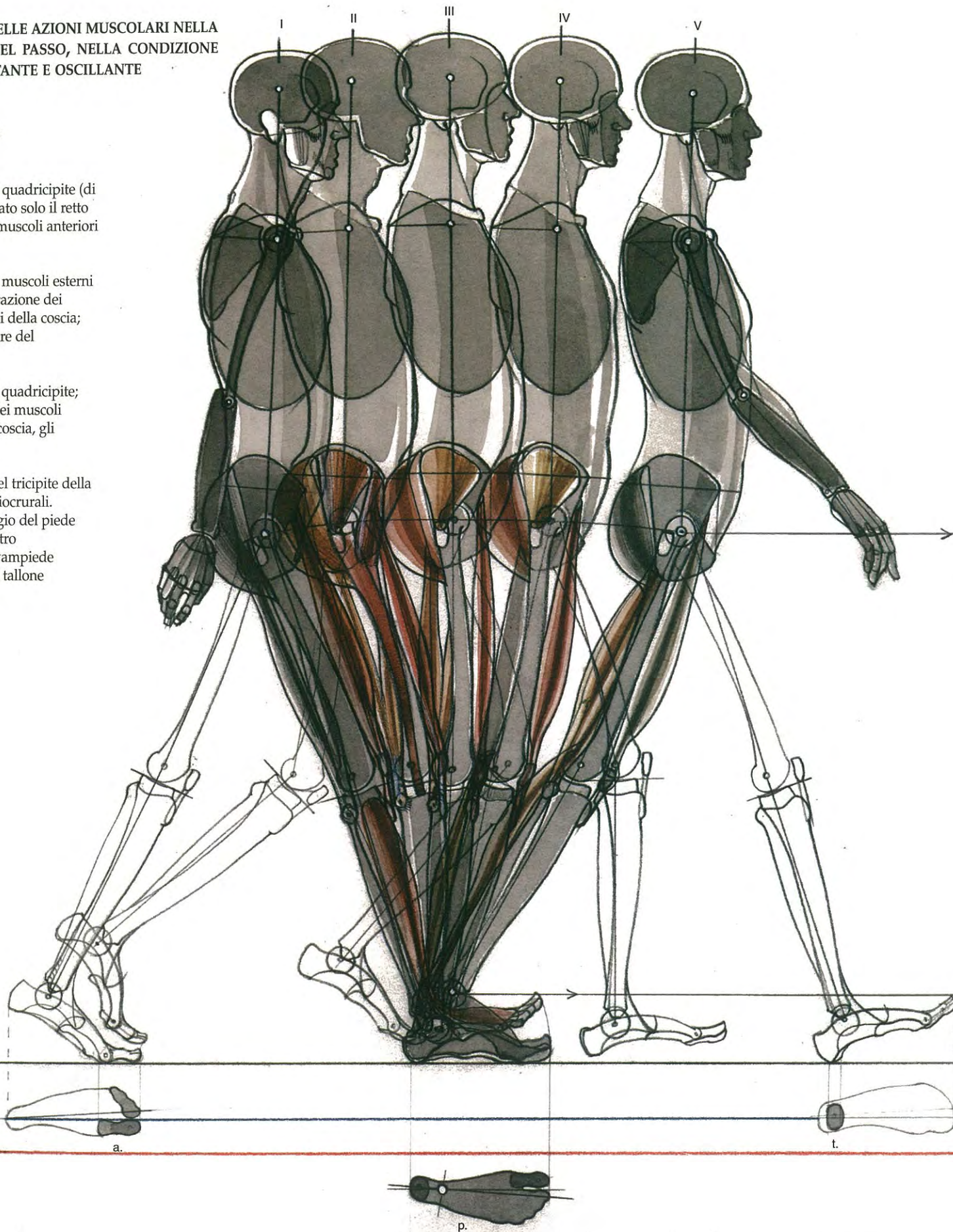



Fig. C
Particolare dello scheletro dell'anca e del tratto lombo-sacrale nel profilo interno, con sezione sagittale della colonna vertebrale.
Sono sezionati il ramo pubico inferiore e il ramo ischiatico del bacino per osservare l'inserzione del muscolo ileopsoas (ip.) sul piccolo trocantere del femore.

Riepilogo delle azioni muscolari nella scansione del passo, nella condizione di arto portante e oscillante

Arto portante

Fase I
Contrazione del quadricipite (di cui è rappresentato solo il retto femorale) e dei muscoli anteriori della gamba.
Fasi II-IV
Contrazione dei muscoli esterni dell'anca e contrazione dei muscoli anteriori della coscia; gruppo muscolare del quadricipite.
Fase III
Contrazione del quadricipite; inizia l'attività dei muscoli posteriori della coscia, gli ischiocrurali.
Fase V
Inizia l'azione del tricipite della sura e degli ischiocrurali.

- p. pieno appoggio del piede destro e sinistro
- a. spinta sull'avampiede
- t. appoggio sul tallone

Arto oscillante

Fasi VI-VIII
Continua l'attività degli ischiocrurali.
Fasi VII-VIII
Si aggiunge la graduale contrazione del retto femorale e dell'ileopsoas che determina l'avanzamento dell'arto.
Fase IX
Situazione identica alla Fase I.
Va. centro dell'anca destra nella Fase V
Vp. piede destro nella Fase V

MOVIMENTI DI OSCILLAZIONE DEL CORPO NELLE FASI DEL PASSO

Finora abbiamo potuto osservare come l'avanzamento del corpo umano al passo avvenga mediante un processo di trasferimento del peso dal tallone all'avampiede (dita e alluce) dell'arto portante e da un piede all'altro, il che determina un moto di avanzamento oscillante. Questo andamento è dovuto al continuo aggiustamento dell'equilibrio del corpo che passa da un doppio appoggio a un unico appoggio e che, graficamente, può essere evidenziato dalla traiettoria di un punto che corrisponda al baricentro del corpo, o centro di massa, nello spazio (Fig. A0).

In una visione sagittale della figura umana al passo l'oscillazione del baricentro percorre nello spazio una linea ad andamento curvo il cui punto più basso corrisponde alla fase di doppio appoggio (Fasi I e V) dovuta alla maggiore inclinazione degli arti che comporta un avvicinamento al suolo e conseguente abbassamento del tronco.

Nella Fase III, invece, quando il corpo è in estensione e tronco e arto portante sono allineati sulla verticale, il tronco raggiunge la sua massima elevazione, con un'escursione, rispetto alle Fasi I e V, di circa 3-5 cm (Fig. B).

Il corpo allora, in una sequenza completa del passo dalla Fase I alla Fase IX, compie nello spazio un movimento di oscillazione verticale, corrispondente a due curve sinusoidali di lunghezza uguale alla scansione di movimento del semipasso dalla Fase I alla Fase V (Fig. B).

Fig. A
Comportamento del baricentro durante le nove fasi del passo.

- 0 stazione eretta simmetrica in equilibrio sull'asse perpendicolare passante per i punti:
- c.s. centro dell'articolazione della spalla
- c.m. centro di massa, o baricentro
- c.a. centro dell'articolazione dell'anca
- l. linea di proiezione al suolo del baricentro

- 0' visione dall'alto del bacino e del piano di sezione delle anche corrispondente alla stazione eretta
- a. asse trasverso che collega i centri delle anche
- b. asse trasverso bi-iliaco passante per le due spine iliache anteriori superiori

V VI VII VIII IX

B

I III V VII IX

3-5 cm

c.s.

c.a.

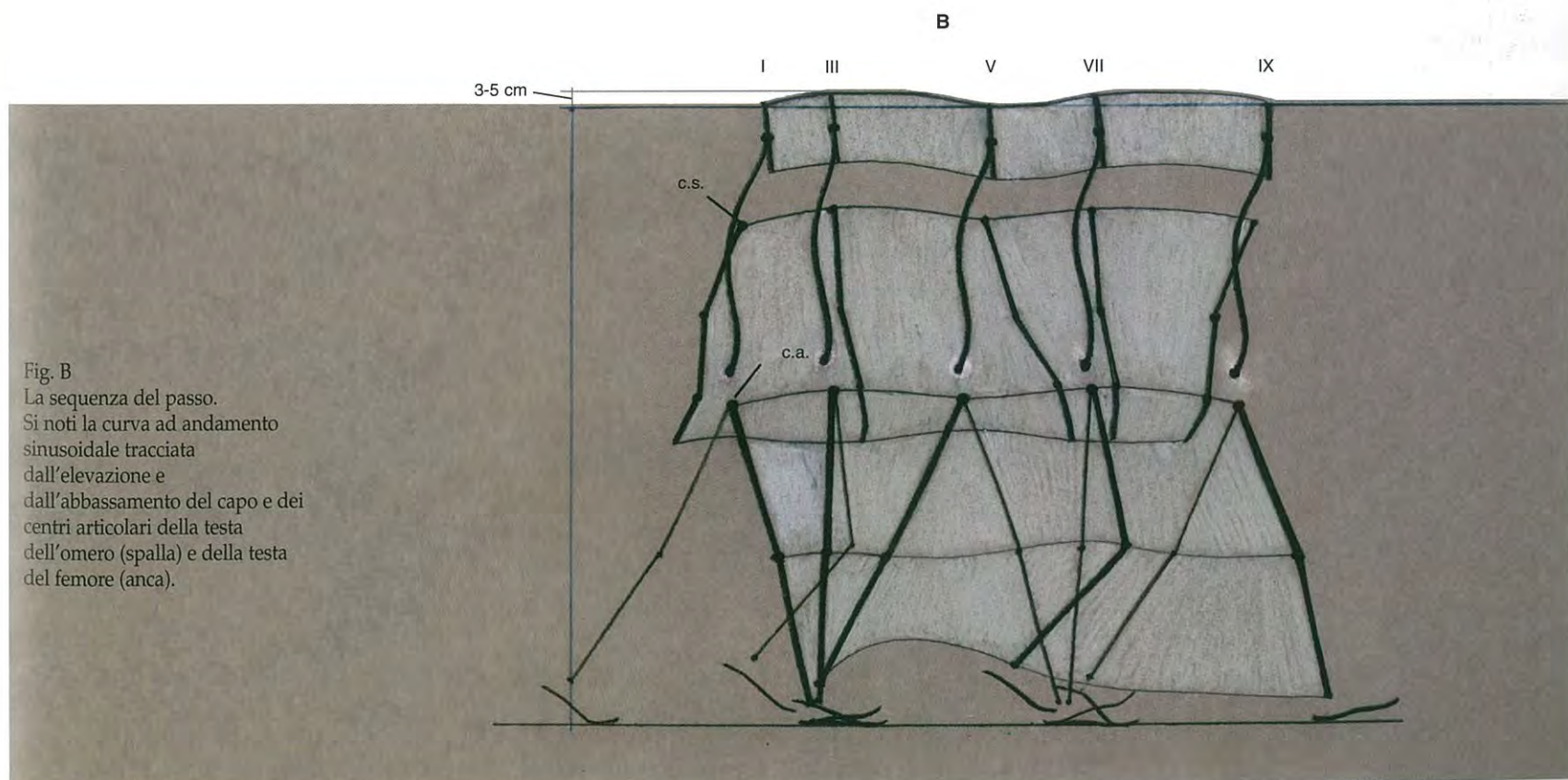
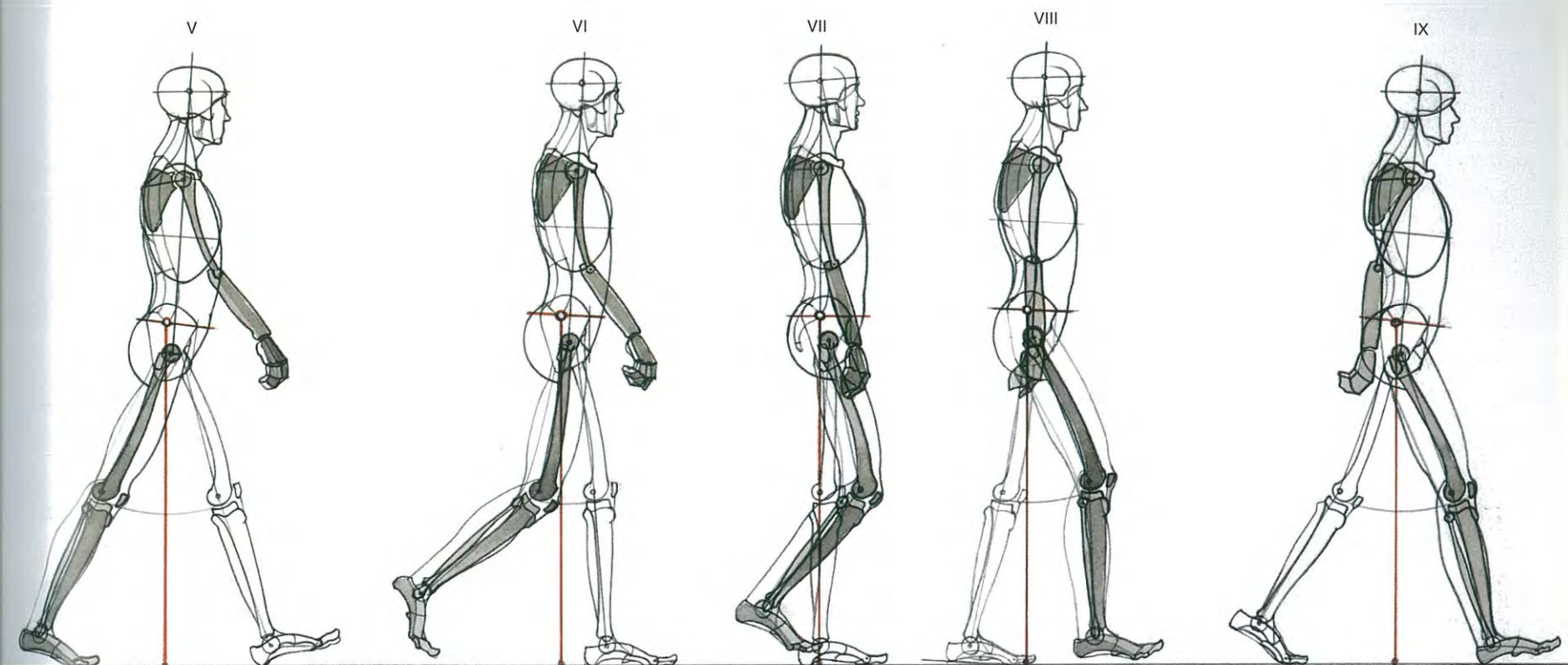



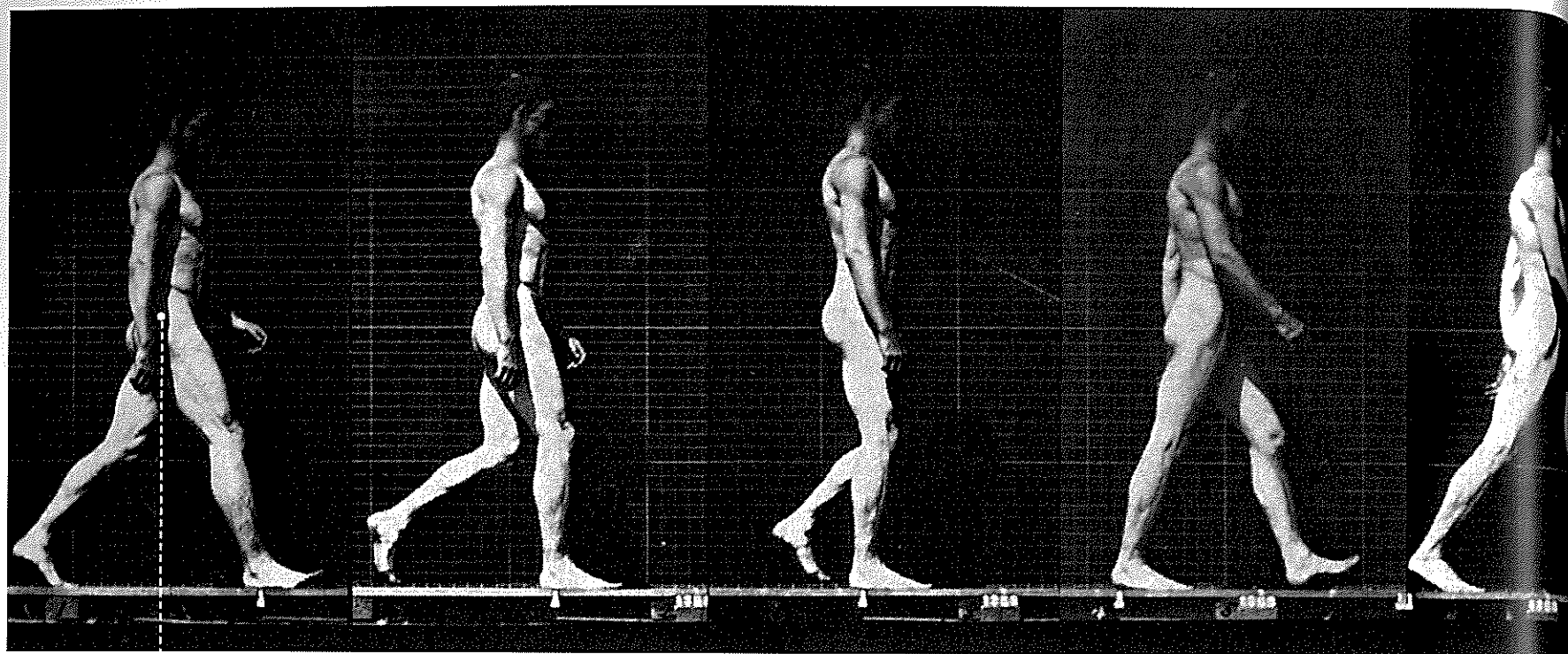
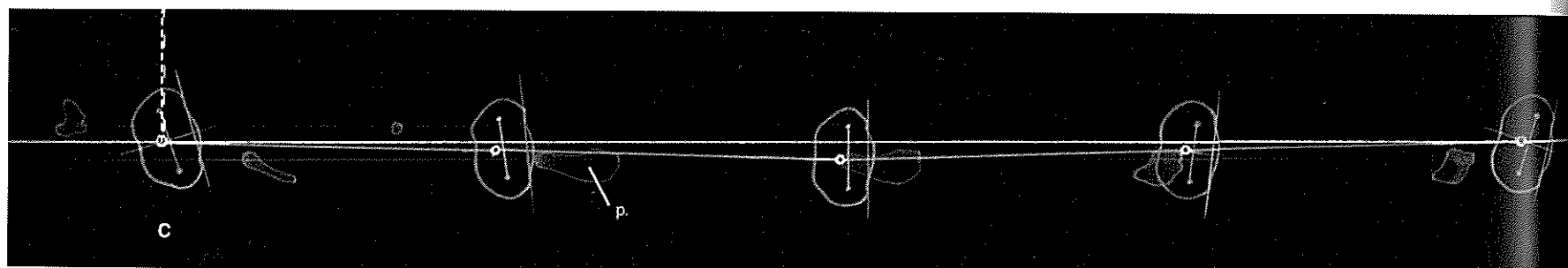
Fig. B
La sequenza del passo.
Si noti la curva ad andamento sinusoidale tracciata dall'elevazione e dall'abbassamento del capo e dei centri articolari della testa dell'omero (spalla) e della testa del femore (anca).

Eadweard Muybridge, University of Pennsylvania, Philadelphia (1887).

L'andamento sinusoidale è riscontrabile anche in una visione dall'alto dello spostamento in avanti al passo. Infatti, nella posizione di doppio appoggio il corpo è sostenuto in equilibrio sui due piedi (Fase I) e il baricentro coincide con la linea mediana di direzione del passo (Fig. C).
Nella fase di appoggio su un solo arto, il corpo si sposta sul lato dell'arto portante per rimettersi in equilibrio; in questo modo la proiezione al suolo del baricentro generale si trova sul piede in appoggio.
Anche in questa oscillazione laterale del corpo notiamo come il baricentro si discosti dalla linea di direzione del passo spostandosi sul lato del piede in appoggio di 3-5 cm (Fasi II, III, IV), per riallinearsi poi ad essa nel momento del successivo doppio appoggio (Fase V).

Fig. C
Visione dall'alto del movimento di oscillazione laterale evidenziato da una sezione orizzontale posta a livello del piano delle anche, che denota lo spostamento laterale del baricentro del corpo (c.m.) rispetto alla linea mediana di andamento del passo (l.)
Spostamento alternato verso l'arto destro (Fasi II, III, IV) e del sinistro (Fasi VI, VII, VIII).
Nelle Fasi I, V, IX, invece, dato l'appoggio al suolo su entrambi i piedi, il baricentro coincide con la linea mediana (l.).
p. impronta del piede in appoggio nelle nove fasi
s. linea ad andamento sinusoidale individuata dalle diverse posizioni del baricentro nelle diverse fasi del passo

C
c.m.
I.
3-5 cm
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
s.

Tav. II

A
I
III
I
III
p.v.
c.m.
c.m.
I.
p.
I.
p.v.
c.m.
c.m.
c.m.
sezione orizzontale
a livello delle anche
I
III
I
III

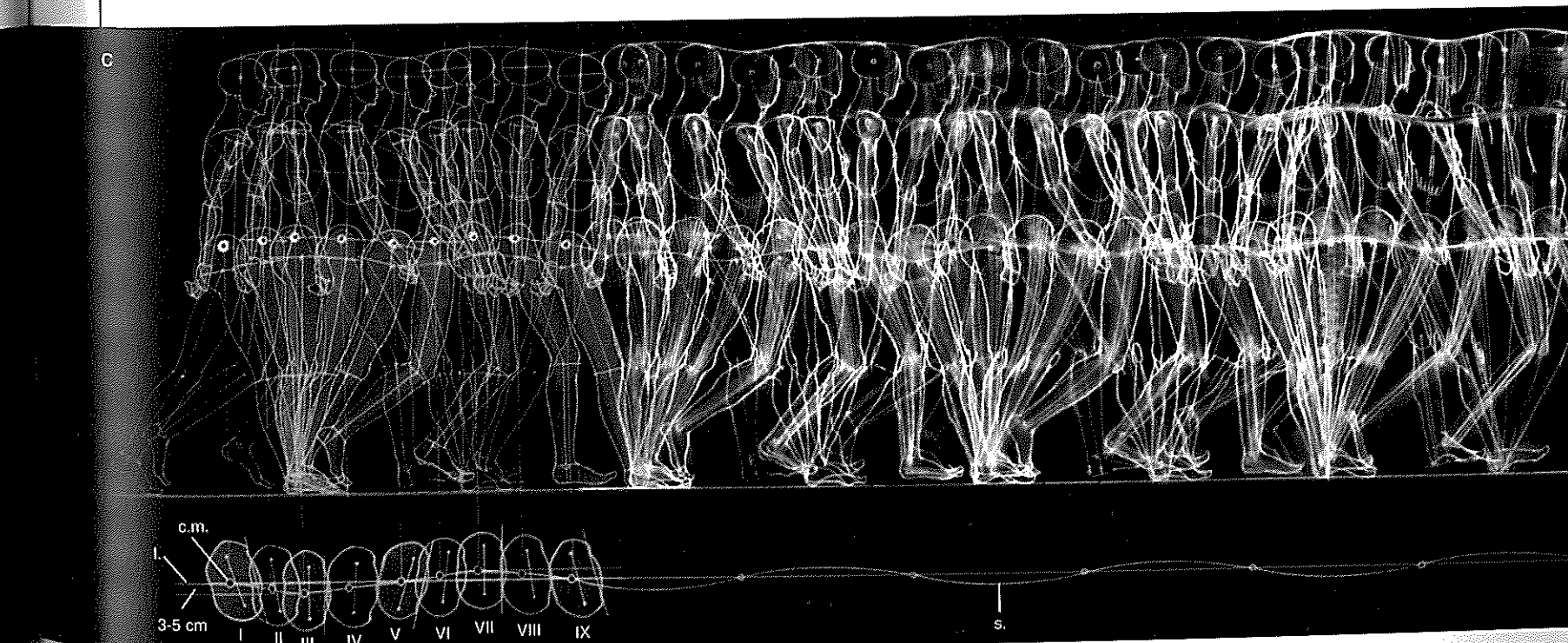
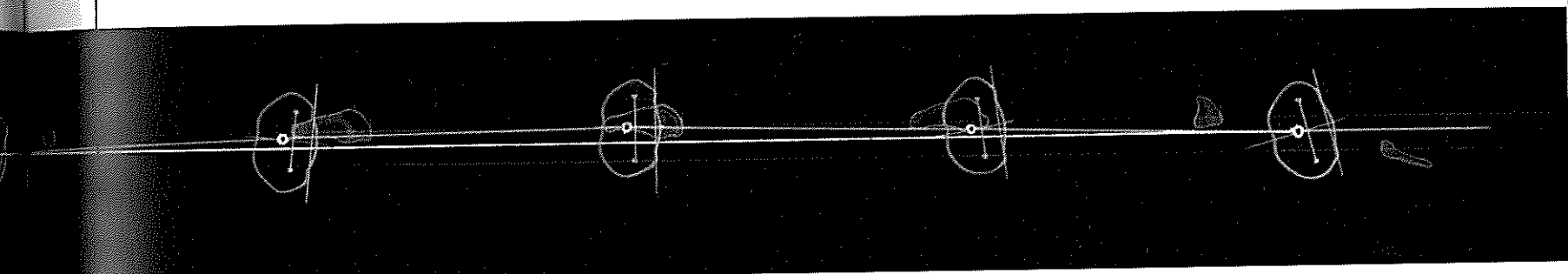
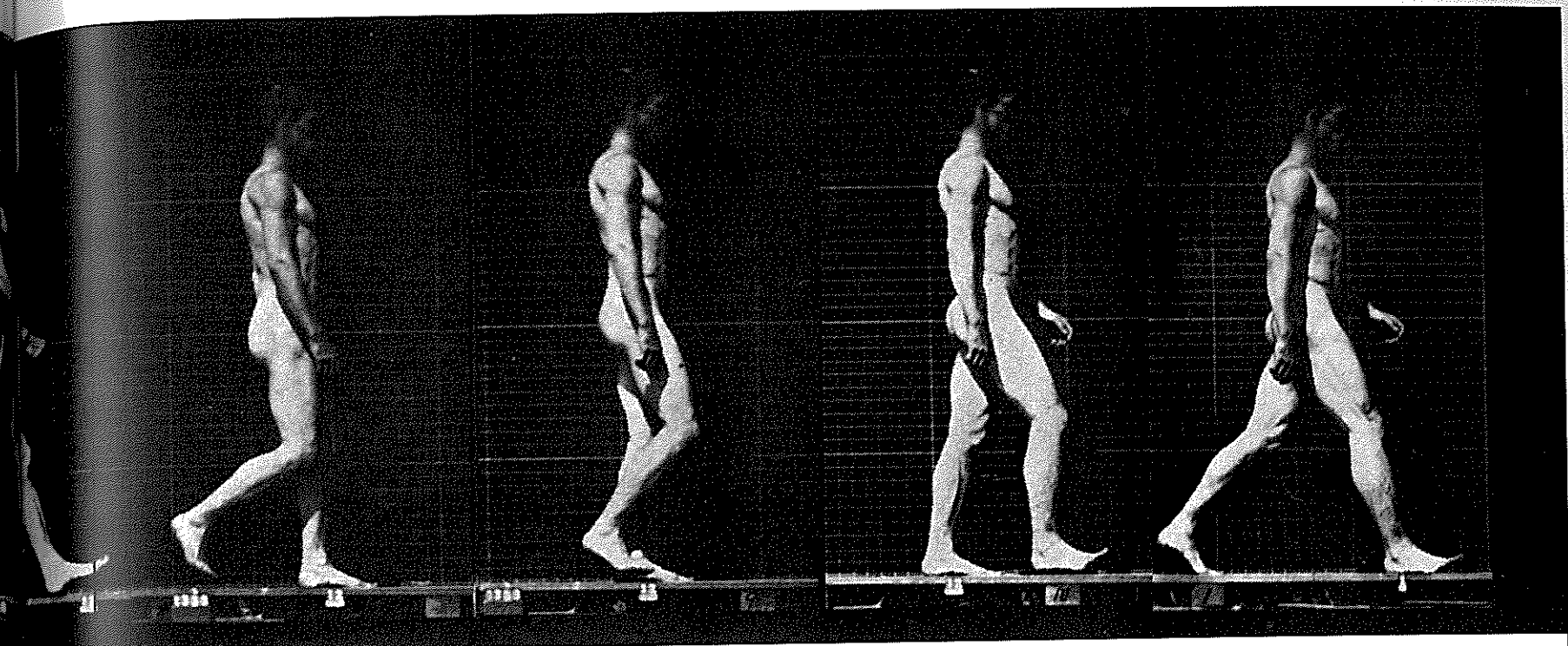
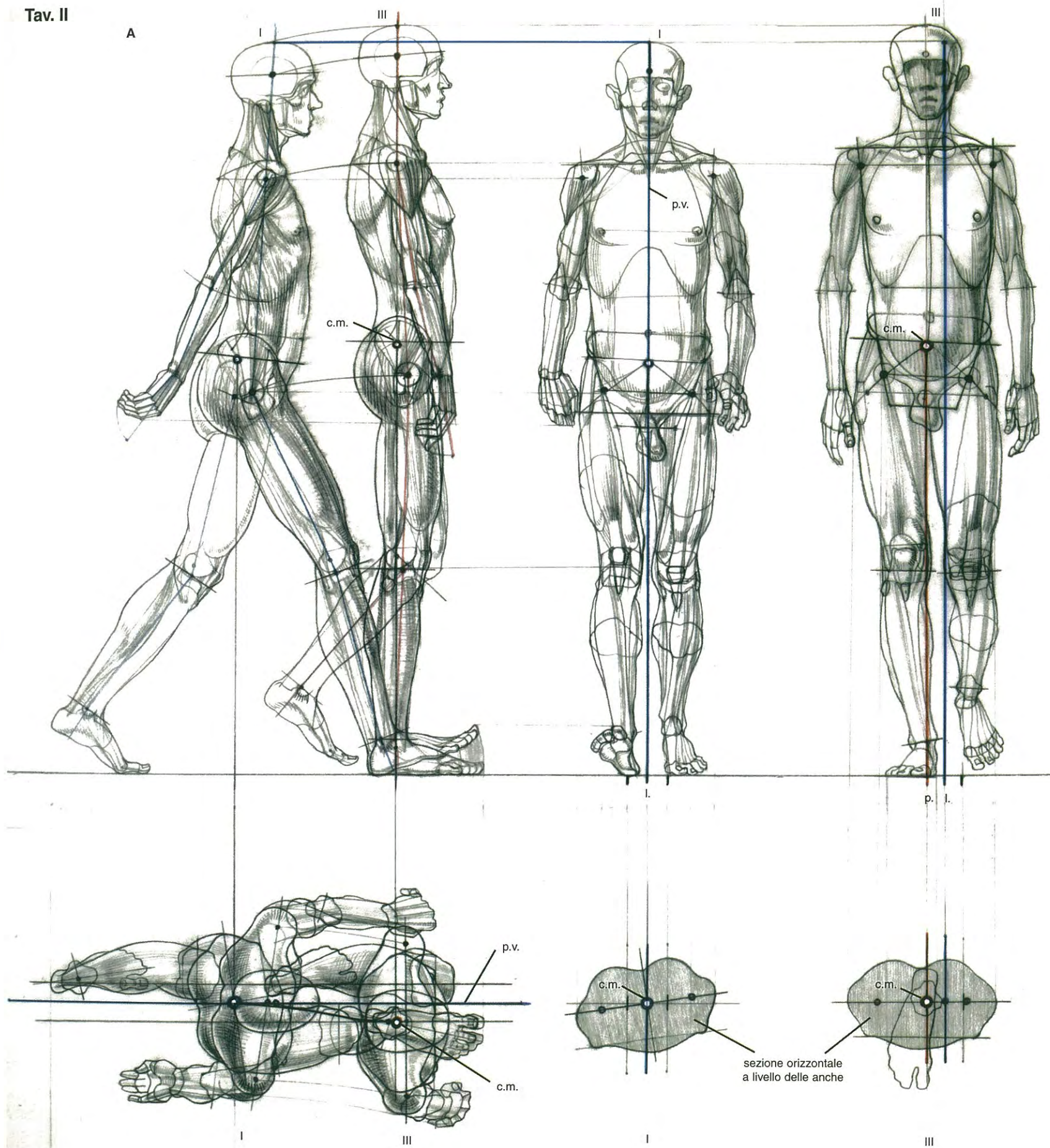
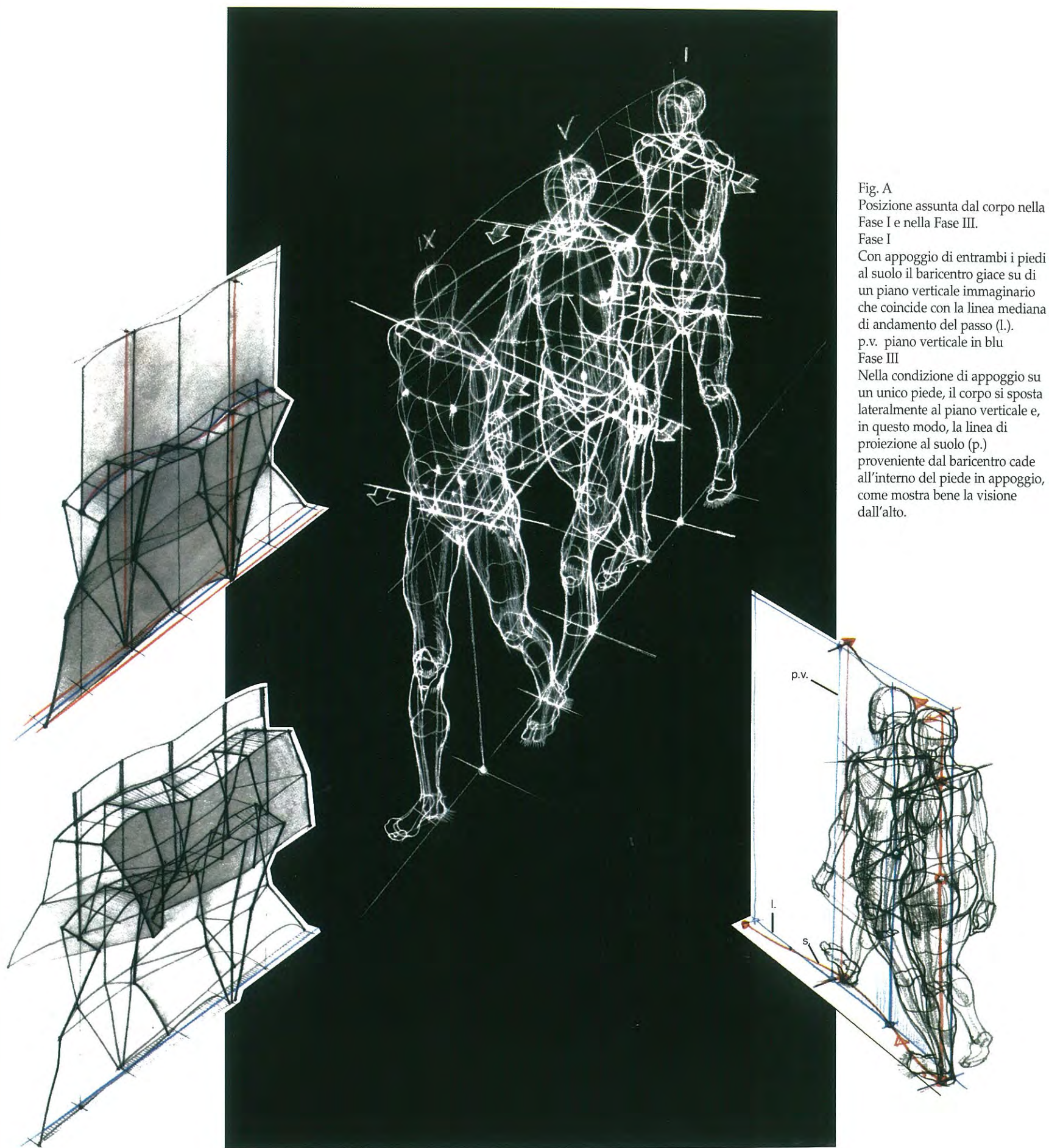



Fig. A
Posizione assunta dal corpo nella Fase I e nella Fase III.
Fase I
Con appoggio di entrambi i piedi al suolo il baricentro giace su di un piano verticale immaginario che coincide con la linea mediana di andamento del passo (l.).
p.v. piano verticale in blu
Fase III
Nella condizione di appoggio su un unico piede, il corpo si sposta lateralmente al piano verticale e, in questo modo, la linea di proiezione al suolo (p.) proveniente dal baricentro cade all'interno del piede in appoggio, come mostra bene la visione dall'alto.

MOVIMENTI ROTATORI DURANTE IL PASSO

Il moto oscillante di un corpo umano che avanza al passo è a sua volta strettamente legato a movimenti rotatori di torsione. Essi si verificano tra i vari segmenti scheletrici del corpo durante la sua traslazione nello spazio e sono generati, come vedremo, dai movimenti rotatori antitetici del bacino, del torace e delle spalle (Tavv. I, II, III).

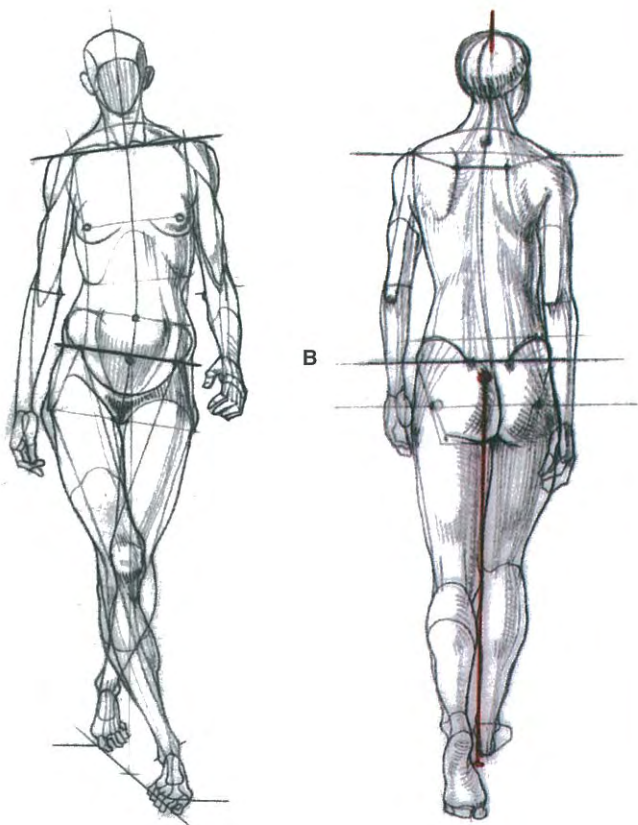



Fig. A
Movimenti di rotazione tra bacino e spalle evidenziati da due assi trasversi, uno passante per le spalle e l'altro per il bacino.
s. asse che congiunge la sommità delle scapole
b. asse che congiunge le due spine anteriori del bacino

Fase I
Al momento della spinta dell'avampiede sinistro e dell'iniziale flessione dell'arto sinistro, si verifica un lieve abbassamento a sinistra del bacino, mentre l'asse delle spalle è orizzontale.

Fase III
Sulla flessione dell'arto oscillante, con il piede in posizione ancora arretrata rispetto all'arto portante, il bacino rimane leggermente abbassato a sinistra mentre l'asse delle spalle è opposto a esso.

Fase IV
Sull'avanzamento del piede oscillante rispetto al piede portante, il bacino si inclina leggermente a destra, mentre l'asse delle spalle rimane pressoché orizzontale.

Fase V
Allineamento parallelo degli assi trasversi del bacino e delle spalle nella fase di doppio appoggio.

Fig. B
Quando l'appoggio dei due piedi si sovrappone o supera, incrociandola, la linea mediana di direzione del passo, l'inclinazione trasversa delle anche e delle spalle è maggiore e vi è un accentuato spostamento laterale del bacino.

Tav. I

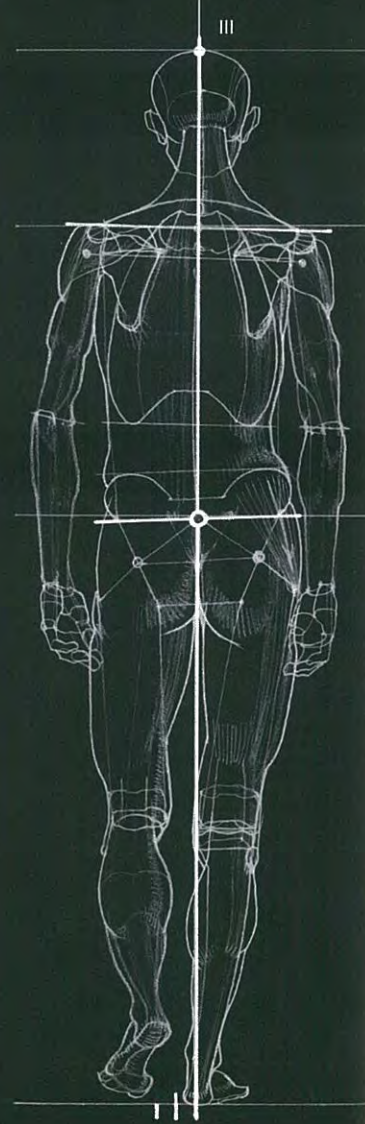
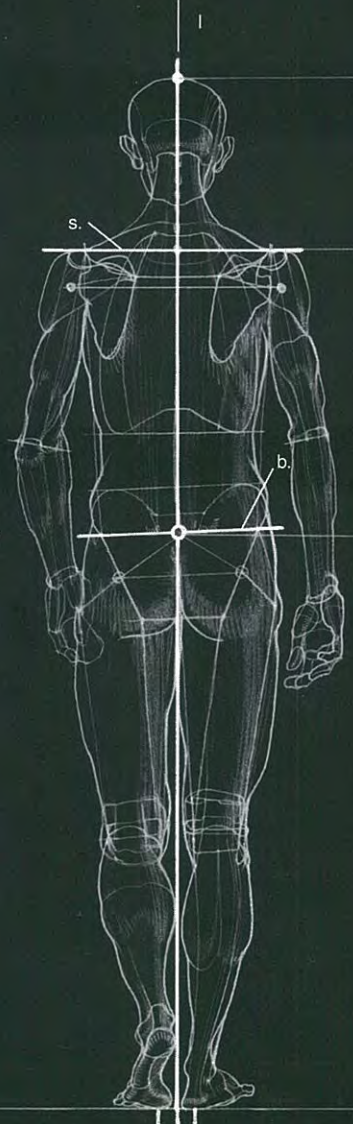
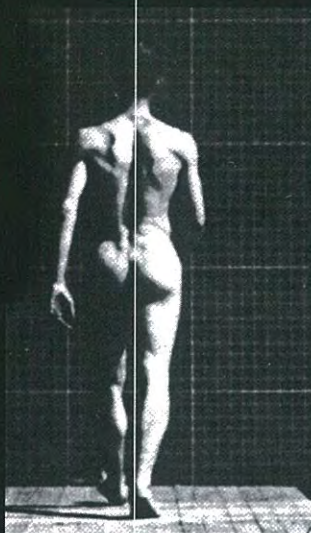
Eadweard Muybridge (1887).

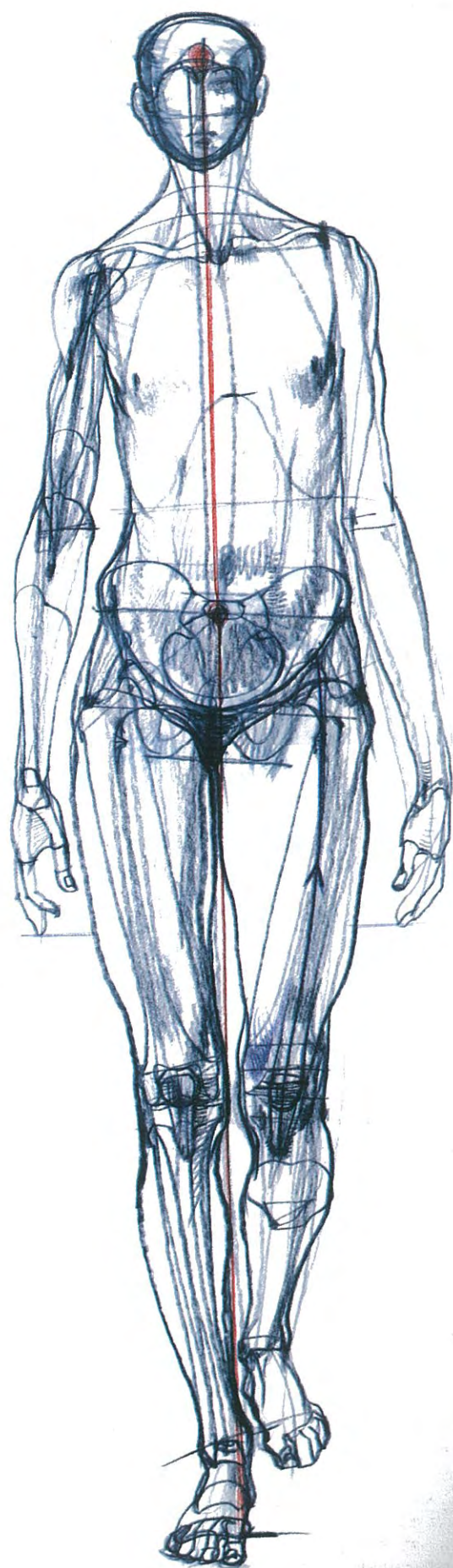
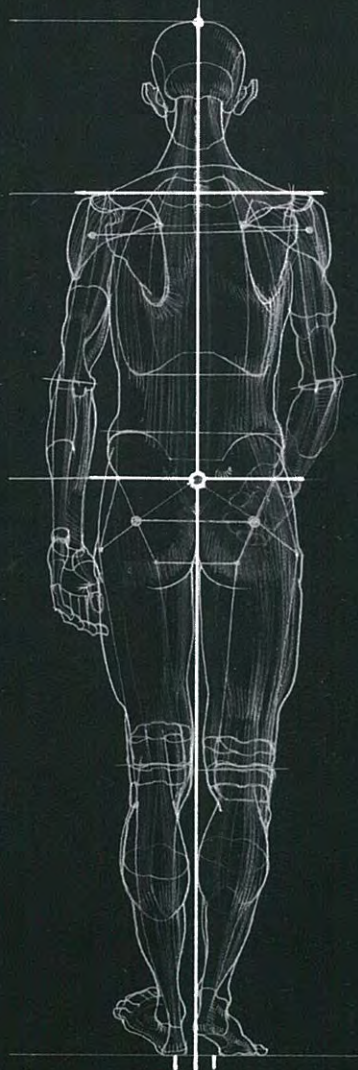
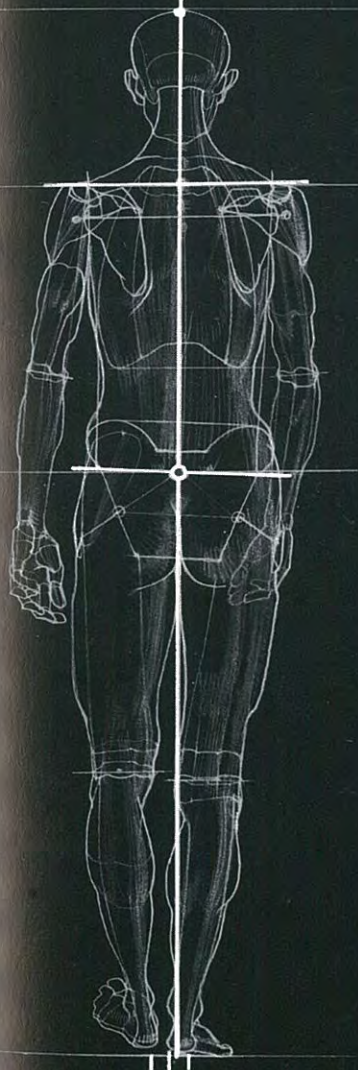
A

I

III

s.

b.

IV

V

Movimenti rotatori del bacino e movimenti di torsione dell'arto inferiore

Per meglio osservare i movimenti rotatori del bacino tracciamo, nel nostro disegno, una linea di riferimento che colleghi le due spine iliache anteriori superiori. La visione dall'alto renderà più evidenti i diversi assetti. All'inizio della fase di doppio appoggio, il bacino è ruotato in modo da essere più spostato in avanti dal lato dell'arto inferiore che inizia la fase portante, nel nostro caso il destro. La spina iliaca anteriore superiore destra si presenta perciò più avanzata rispetto alla sinistra.

Durante la fase di oscillazione dell'arto sinistro e fino al suo nuovo doppio appoggio, possiamo vedere che il bacino, facendo perno sulla testa del femore dell'arto portante (nell'articolazione coxo-femorale), esegue una rotazione verso il lato in appoggio che accompagna il movimento in avanti dell'arto sinistro oscillante, finché questo non appoggia nuovamente al suolo in modo che la spina iliaca anteriore superiore sinistra sia ora più avanzata rispetto a quella destra (Fig. A, Fase V).

Contemporaneamente, si verificano movimenti rotatori anche a livello delle diverse articolazioni dell'arto in appoggio, in funzione di una maggiore stabilità delle strutture articolari sotto sforzo. Perciò, dato che il ginocchio si estende e la caviglia si flette dorsalmente, la tibia ruota un po' medialmente, trascinando l'astragalo, e il femore subisce una rotazione mediale nelle fasi finali dell'estensione del ginocchio (Fase III) che contribuisce a rendere maggiormente serrata l'articolazione del ginocchio, garantendo una maggiore stabilità all'arto portante.

Questi movimenti rotatori risultano più comprensibili se consideriamo l'architettura complessiva dell'arto in estensione nella stazione eretta simmetrica. In questa condizione le estremità articolari dei singoli segmenti scheletrici del femore e della tibia sono tra di loro orientate, rispetto all'asse longitudinale della diafisi, con gradi di torsioni assiali differenti (Fig. C).

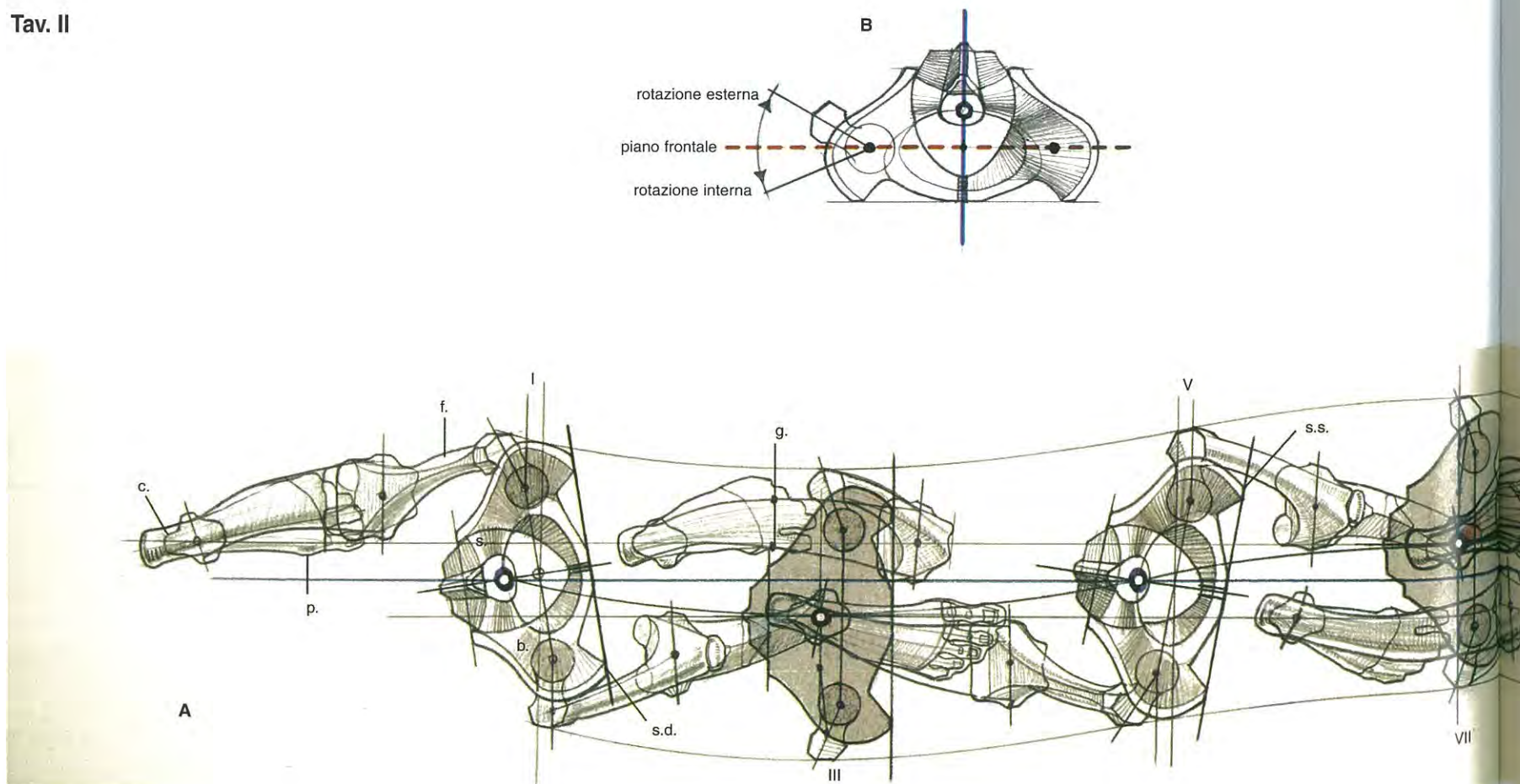
Per comprendere nel complesso i gradi e i movimenti delle varie torsioni dei segmenti dell'arto inferiore, è utile far riferimento a un piano frontale passante per il centro della testa articolare del femore (Figg. B, B').

Fig. A
Visione dall'alto del movimento del bacino e dell'arto inferiore nella scansione del passo.
b. bacino
s. sacro
s.d. spina iliaca anteriore superiore destra
s.s. spina iliaca anteriore superiore sinistra
f. femore
g. perimetro dello scheletro della gamba
c. caviglia (sezione)
p. piede

Figg. B, B'
Visione dall'alto del bacino attraversato da un piano frontale passante per i centri articolari delle anche (acetaboli-teste dei femori).

Tav. II

B

rotazione esterna
piano frontale
rotazione interna

Torsione assiale del femore

Un asse trasverso, che unisca la testa articolare del femore al grande trocantere passante per il collo femorale, non è, di norma, parallelo al piano frontale, ma è ruotato esternamente con un valore angolare di circa 30°, mentre l'asse trasverso passante per i condili del femore è in genere posto parallelamente al piano frontale (Figg. B', C).

Torsione assiale della tibia

Anche nella tibia non esiste parallelismo tra gli assi trasversi delle due superfici articolari. Tra i piatti tibiali e i due malleoli, infatti, esiste una retroposizione del malleolo laterale, per cui l'asse trasverso bimalleolare dell'articolazione tibio-tarsica risulta ruotato esternamente di circa 25° rispetto all'asse trasverso dei piatti tibiali (Fig. C).

B'

piano frontale

30°

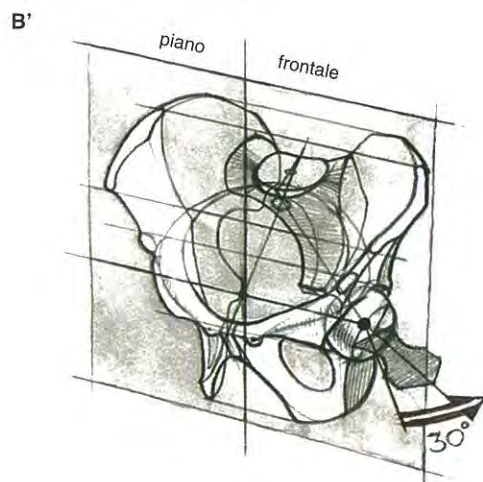
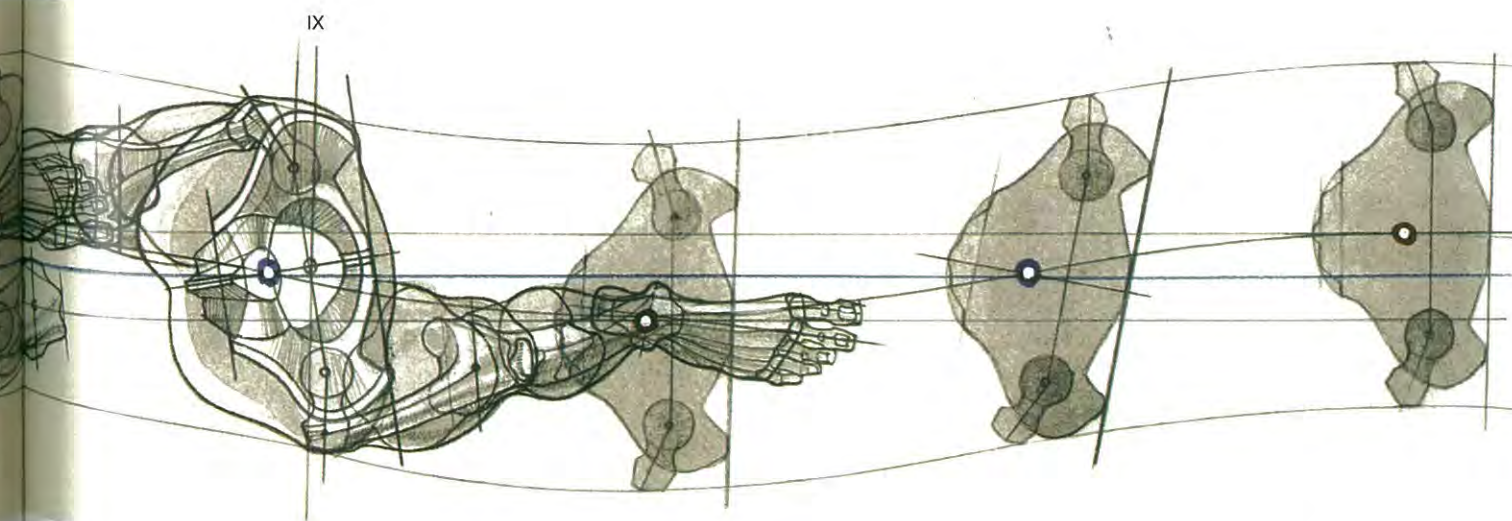
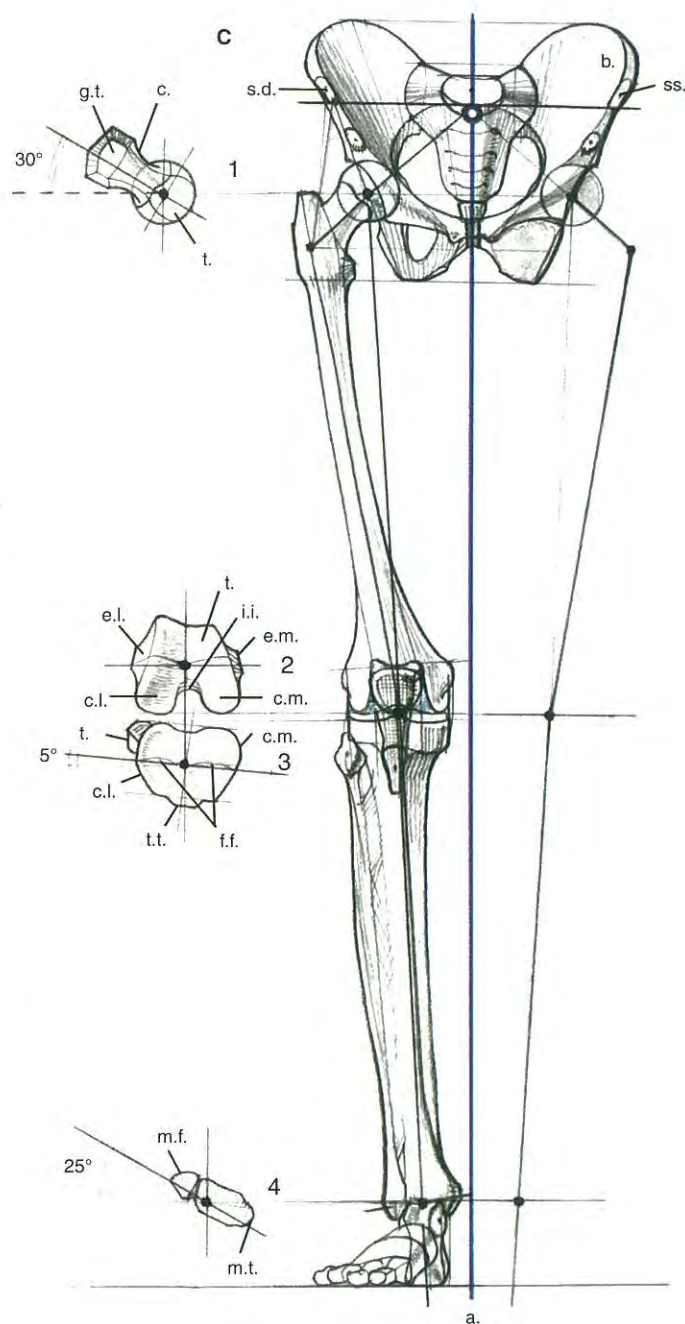
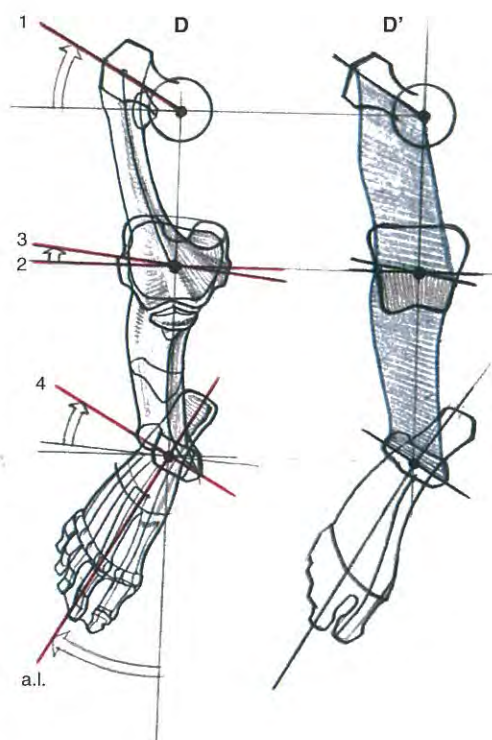



Fig. C
Visione anteriore nella stazione eretta simmetrica dello scheletro dell'arto inferiore.
a. asse mediano

Assetti delle estremità articolari.
1. Visione dall'alto dell'estremità superiore del femore destro.
t. testa del femore
c. collo del femore
g.t. grande trocantere
2. Visione dal basso dell'estremità inferiore del femore destro.
t. troclea
c.m. condilo mediale
c.l. condilo laterale
e.m. epicondilo mediale
e.l. epicondilo laterale
i.i. incisura intercondiloidea
3. Visione dall'alto dell'estremità superiore della tibia destra che corrisponde al piatto tibiale.
c.m. condilo mediale
c.l. condilo laterale
ff. facce articolari
t.t. tuberosità della tibia
t. testa della fibula
4. Visione perimetrale dall'alto dell'estremità inferiore della tibia e della fibula.
m.t. malleolo tibiale
m.f. malleolo fibulare

Ricostruzione dell'arto inferiore

Se ricomponiamo nel loro assetto i due segmenti scheletrici femore e tibia, notiamo come gli assi trasversi dei condili e dei piatti tibiali nella condizione di estensione non siano tra loro paralleli a causa di una rotazione assile intrinseca che causa una rotazione esterna della tibia rispetto al femore di circa 5° per garantire una maggiore congruenza tra le due superfici articolari del ginocchio.
Perciò, sommando le varie torsioni distribuite su tutto l'arto inferiore, si nota che esse si annullano reciprocamente e che l'asse bimalleolare è praticamente posto in una condizione di parallelismo con l'asse trasverso del collo del femore, ossia in rotazione esterna di circa 30° (Figg. D, D').
Questo assetto naturale che assume l'arto inferiore va di conseguenza a orientare la direzione del piede: infatti nella stazione eretta simmetrica i due piedi divergono esternamente dato il parallelismo tra l'asse bimalleolare dell'articolazione tibio-tarsica e l'asse trasverso del collo femorale; ne deriva che l'asse trasverso dei condili femorali è parallelo al piano frontale.
Ma se consideriamo una stazione eretta simmetrica a piedi uniti e tra loro paralleli notiamo come l'asse bimalleolare sia parallelo al piano frontale, mentre di conseguenza l'asse trasversale dei condili, che ci indica l'assetto dell'articolazione del ginocchio in quel momento, è leggermente ruotato verso l'interno (Fig. E).
Tale posizione dell'asse trasversale dell'articolazione del ginocchio è imprescindibile nella camminata, perché consente al piede le migliori condizioni di marcia, che si verificano quando il suo asse longitudinale, nel momento dell'appoggio al suolo, risulta diritto o leggermente ruotato verso l'esterno (circa 15°) rispetto alla linea mediana di andamento del passo.
L'assetto che il ginocchio assume avvantaggia anche il movimento dell'arto oscillante durante il movimento di rotazione del bacino dato che, nella fase di stacco, la gamba in flessione viene ruotata verso l'esterno, cioè allontanata da quella dell'arto portante. In questo modo la gamba e il piede oscillano in condizione di parallelismo con la linea mediana di direzione del passo consentendo il passaggio dell'arto oscillante sul davanti dell'arto portante, senza alcun ostacolo; e il piede risulta orientato in avanti nella direzione di marcia (Fig. F).
Se, al contrario, nel camminare vi fosse una forte rotazione verso l'esterno dell'asse trasverso del collo femorale con conseguente forte rotazione esterna dell'asse dell'articolazione del ginocchio, la gamba in flessione nella fase di oscillazione urterebbe con il piede la gamba dell'arto portante.

Figg. D, D'
Visione scorciata dall'alto dello scheletro dell'arto inferiore destro.
Assetto degli angoli di torsione rilevati sulle estremità articolari.
1. asse trasverso del collo del femore
2. asse trasverso dei condili femorali
3. asse trasverso del piatto tibiale
4. asse trasverso bimalleolare

a.l. asse longitudinale del piede
La torsione è ulteriormente evidenziata da un piano che va dal collo del femore al ginocchio sino alla caviglia.

Fig. E
Rotazione interna dei due arti inferiori che allinea in parallelo i due piedi.

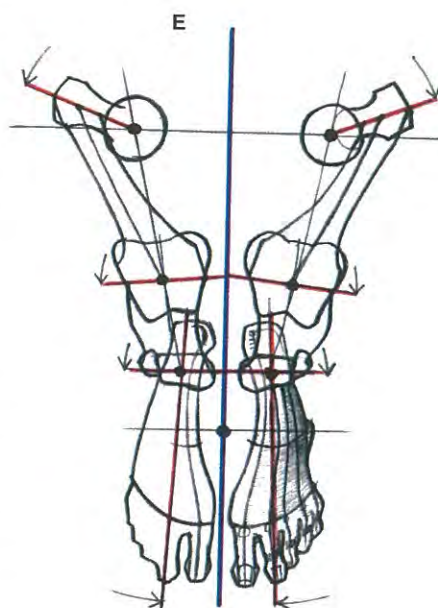
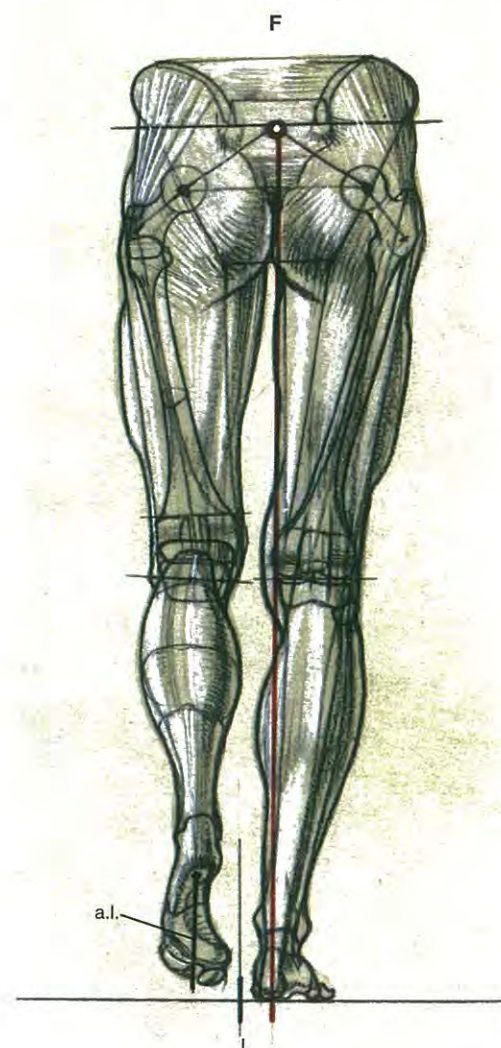
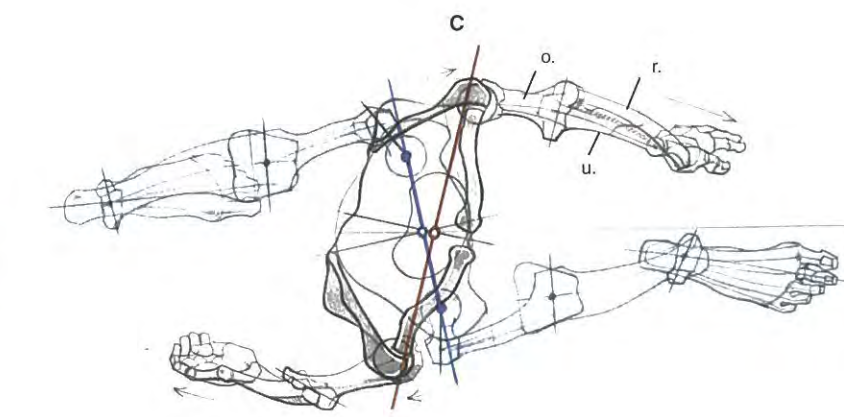
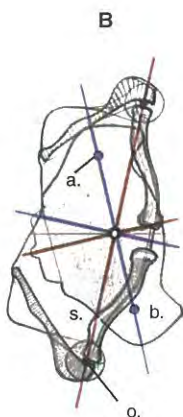
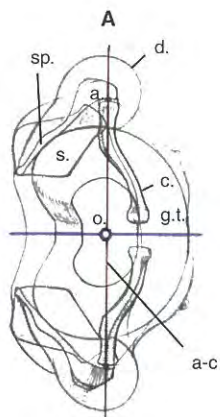



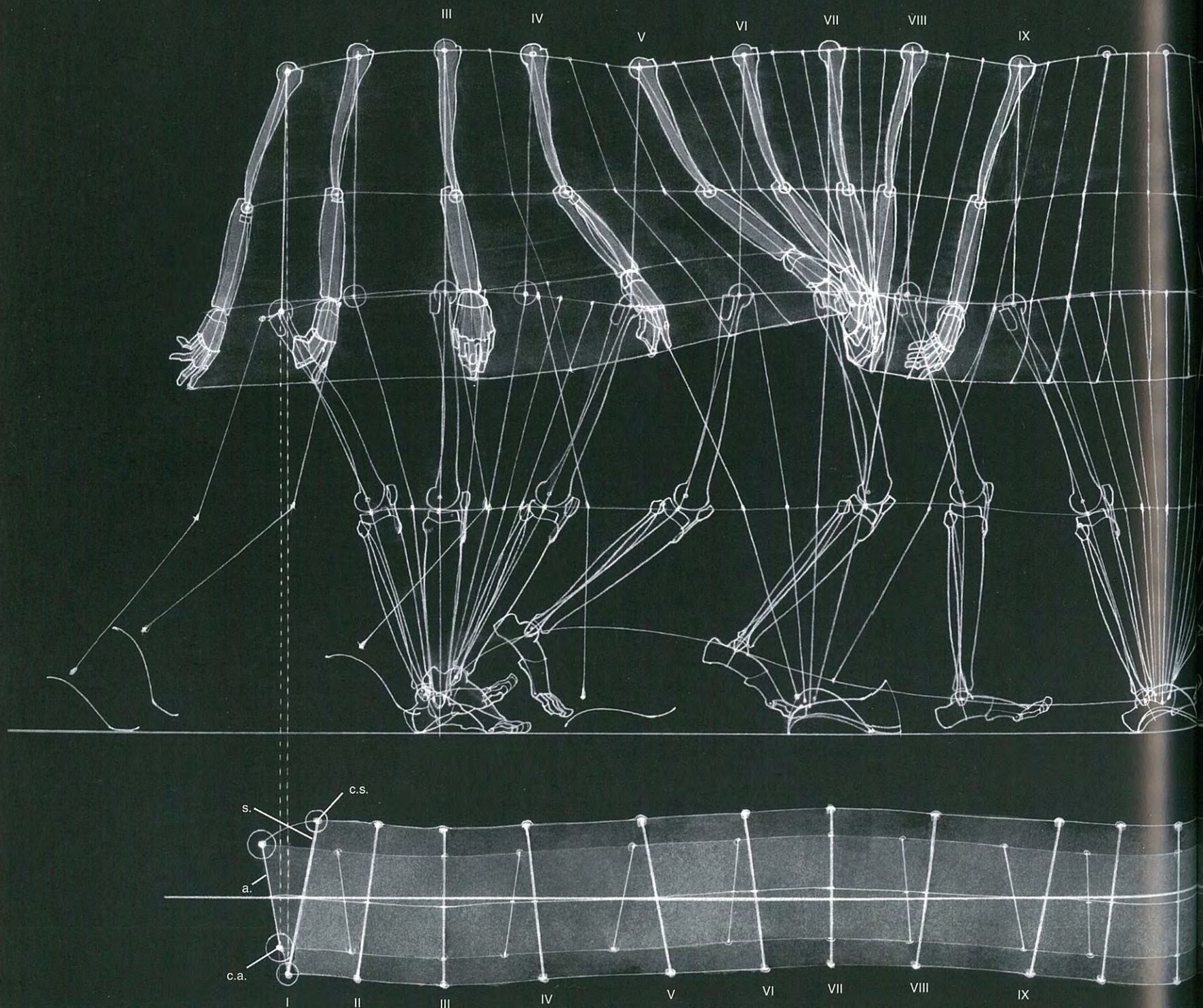
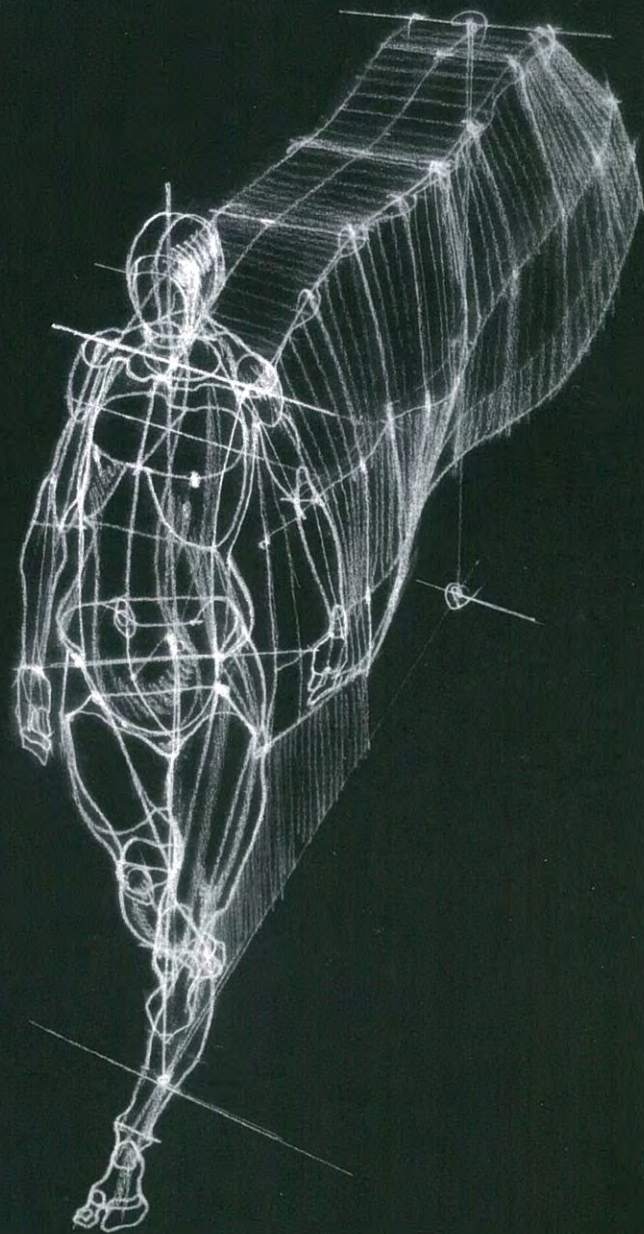
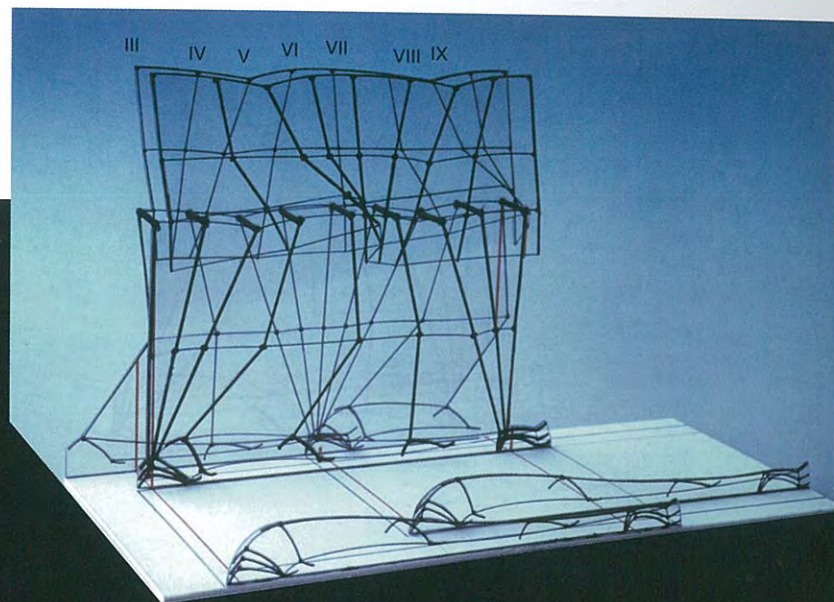
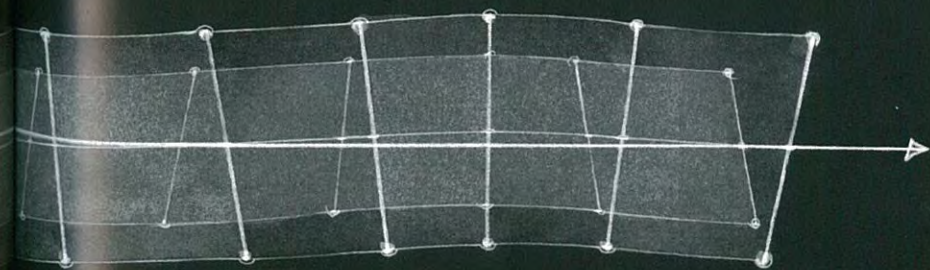
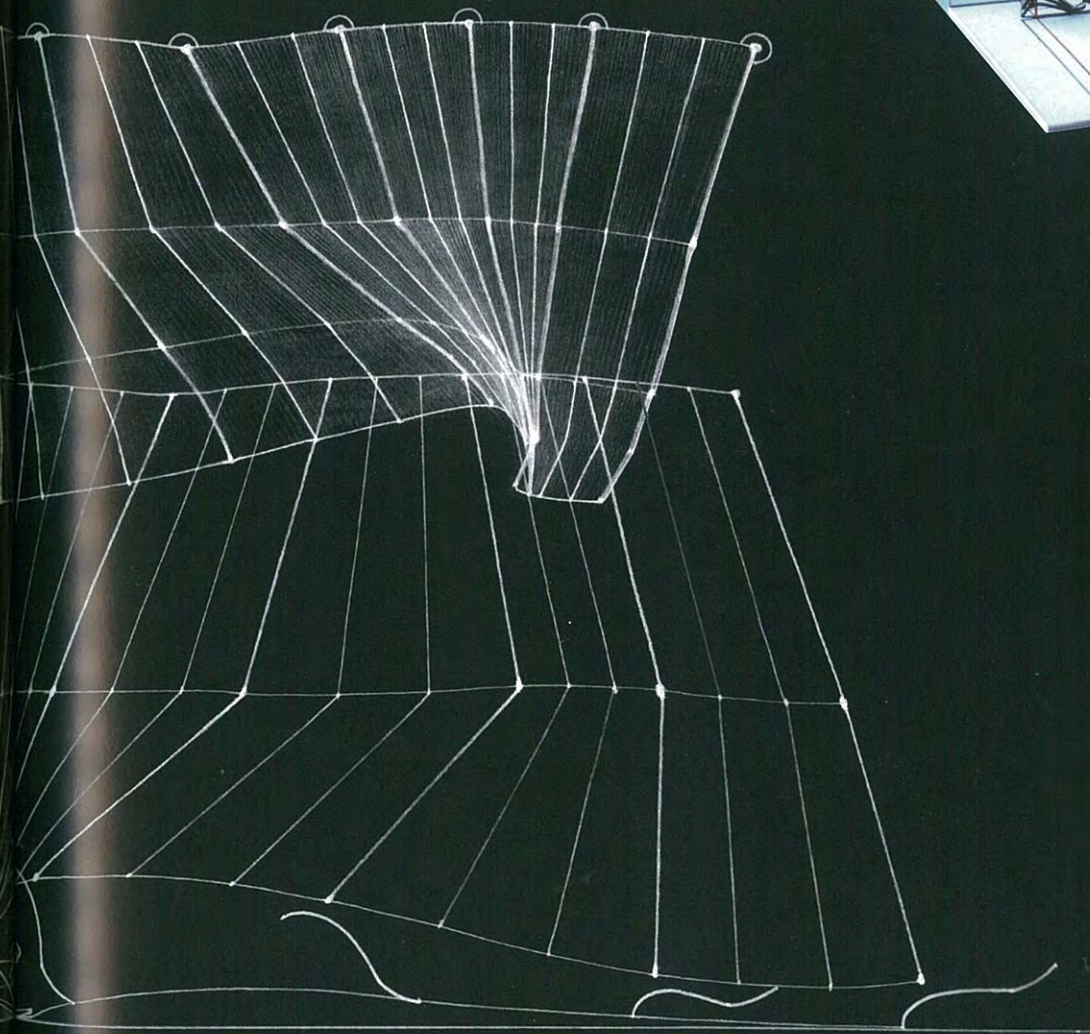
Fig. F
Assetto della gamba e del piede dell'arto oscillante mentre inizia il proprio avanzamento.
l. linea mediana del passo

MOVIMENTI ROTATORI DELLE SPALLE E MOVIMENTO PENDOLARE DELL'ARTO SUPERIORE

Anche i movimenti rotatori del torace e delle spalle sul piano orizzontale possono essere evidenziati da una linea che congiunga il punto articolare tra la clavicola e l'acromion delle due scapole (articolazione acromio-clavicolare) (Fig. A).
I movimenti delle spalle sono movimenti ritmici reciproci e regolari come quelli del bacino, ma ad esso opposti (Fig. B). Di conseguenza anche l'arto superiore esegue dei movimenti oscillatori su di un piano antero-posteriore opposti ai movimenti di locomozione degli arti inferiori, che concorrono al mantenimento dell'equilibrio del corpo in movimento.
Nella condizione di doppio appoggio (Fase I del nostro esempio) l'arto superiore destro è posteriore all'arto inferiore destro che ora inizia la sua fase portante, mentre l'arto superiore sinistro è in avanti, in modo tale che le estremità degli arti superiori sono poste tra di loro alla massima distanza (Fig. C).
Nella Fase III invece gli arti superiori si incrociano portandosi per un breve tempo ad allinearsi sulla verticale. Nel movimento posteriore l'arto superiore si porta in estensione, mentre nel movimento anteriore esso si contrae leggermente e va in flessione; a questa leggera flessione del gomito corrisponde in contemporanea una lieve estensione della mano.

Fig. A
Visione dall'alto del torace e delle spalle.
a-c asse acromio-clavicolare
o. orifizio superiore della gabbia toracica
g.t. gabbia toracica
c. clavicola
s. scapola
sp. spina della scapola
a. acromion della scapola
d. deltoide (perimetro)

Fig. B
Movimento di rotazione delle spalle osservate nel perimetro scheletrico.
Il bacino è ruotato nella direzione opposta.
s. area delle spalle
b. area del bacino
a. centro articolare dell'anca
o. centro articolare della testa dell'omero

Fig. C
Movimenti opposti degli arti superiori nella fase di doppio appoggio.
o. omero
r. radio
u. ulna

Andamento pendolare dell'arto superiore destro analizzato nel perimetro scheletrico e nell'asse longitudinale.
Sul piano orizzontale, movimento rotatorio degli assi delle anche e delle spalle.
a. asse trasverso delle anche
s. asse trasverso delle spalle
c.a. centro dell'anca (testa del femore)
c.s. centro della spalla (testa dell'omero)

III
IV
V
VI
VII
VIII
IX

I movimenti rotatori durante il passo analizzati attraverso sezioni orizzontali. Visioni laterali e dall'alto. Nelle Fasi I, V e IX sono più evidenti le rotazioni opposte di bacino e torace-spalle che portano alla torsione del tronco. Le rotazioni si possono dedurre dai punti salienti del perimetro scheletrico del bacino e dalle sezioni orizzontali delle anche, del torace e delle spalle.

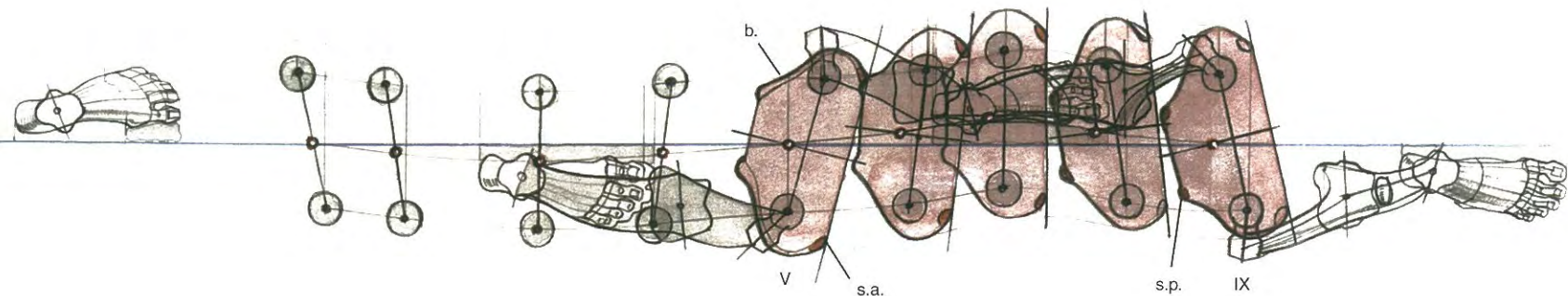
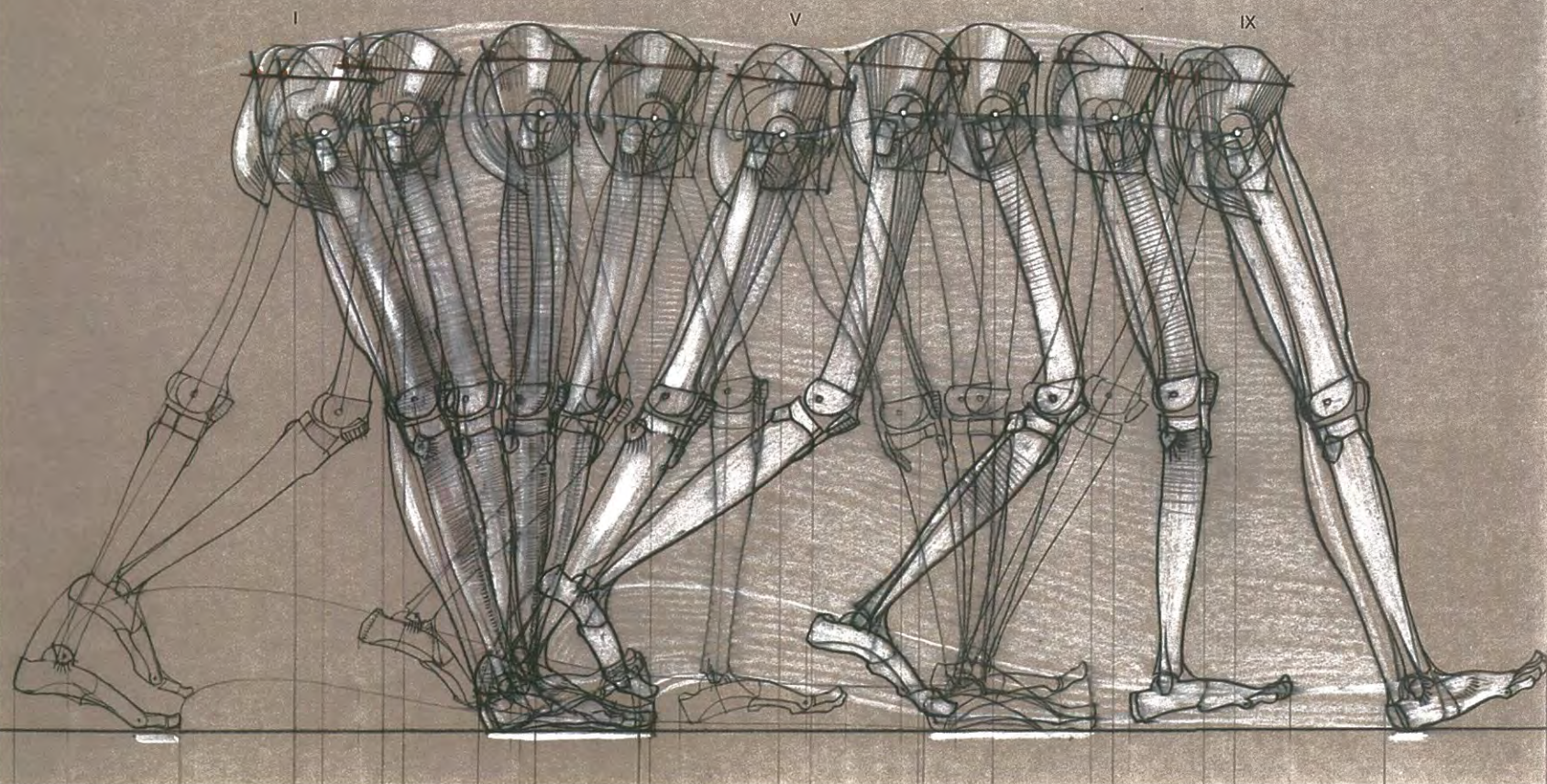
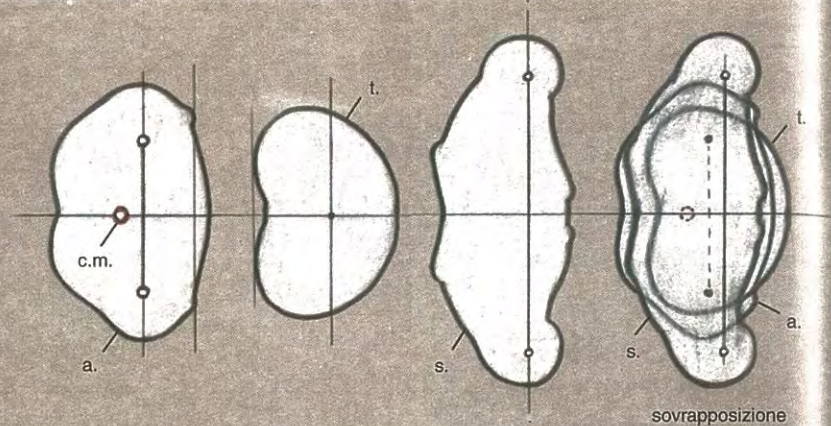
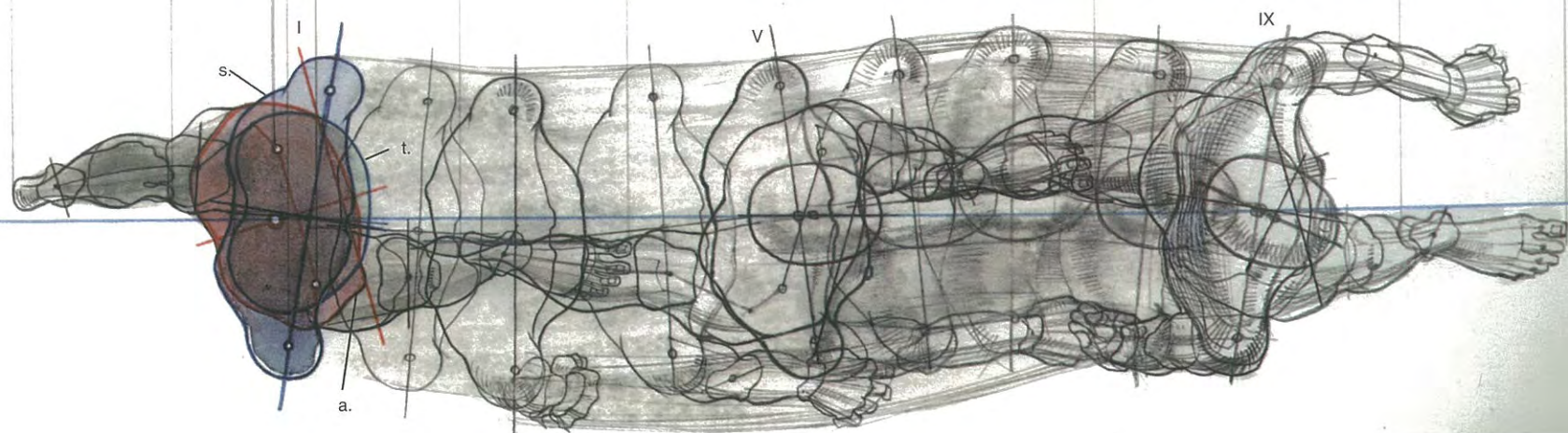
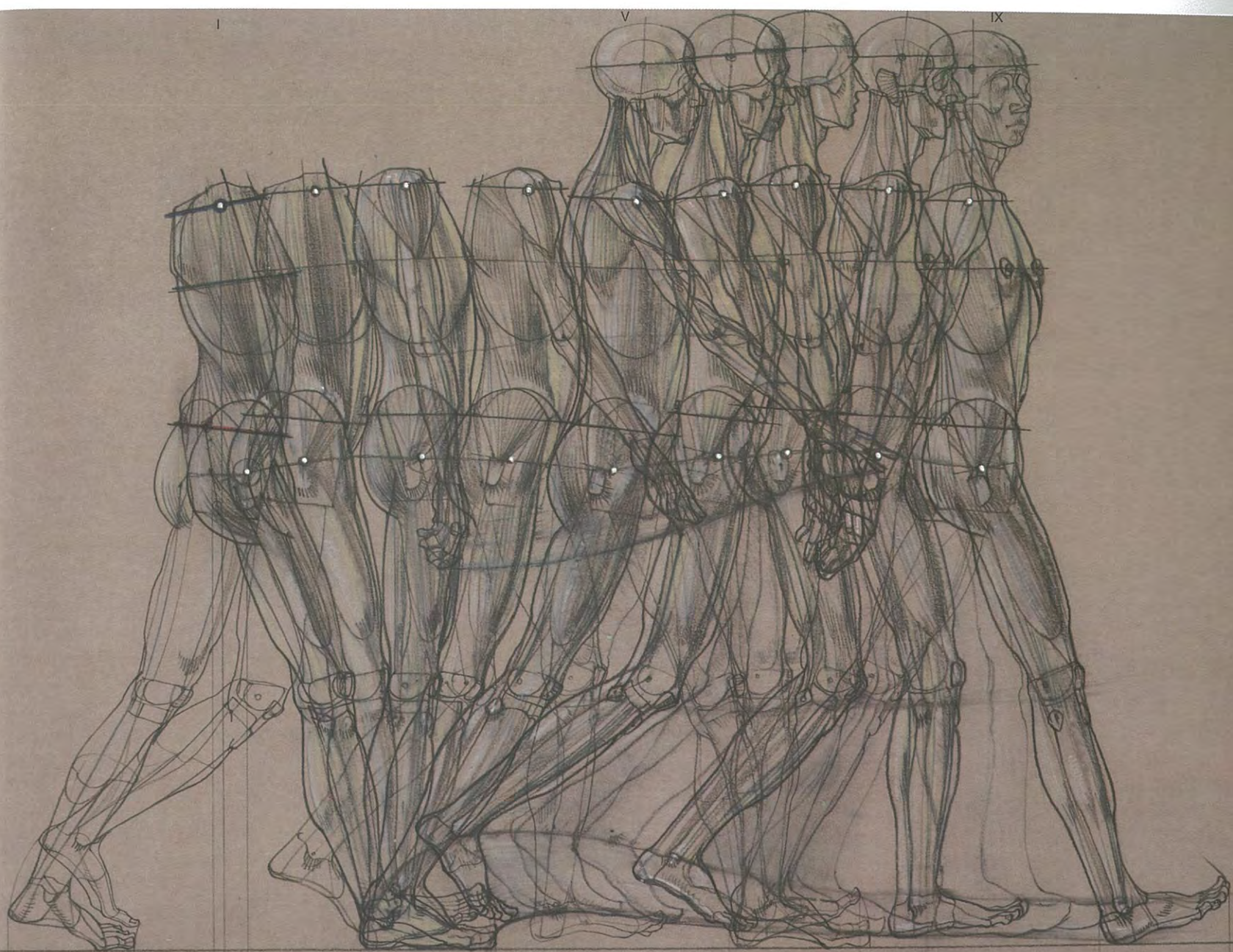
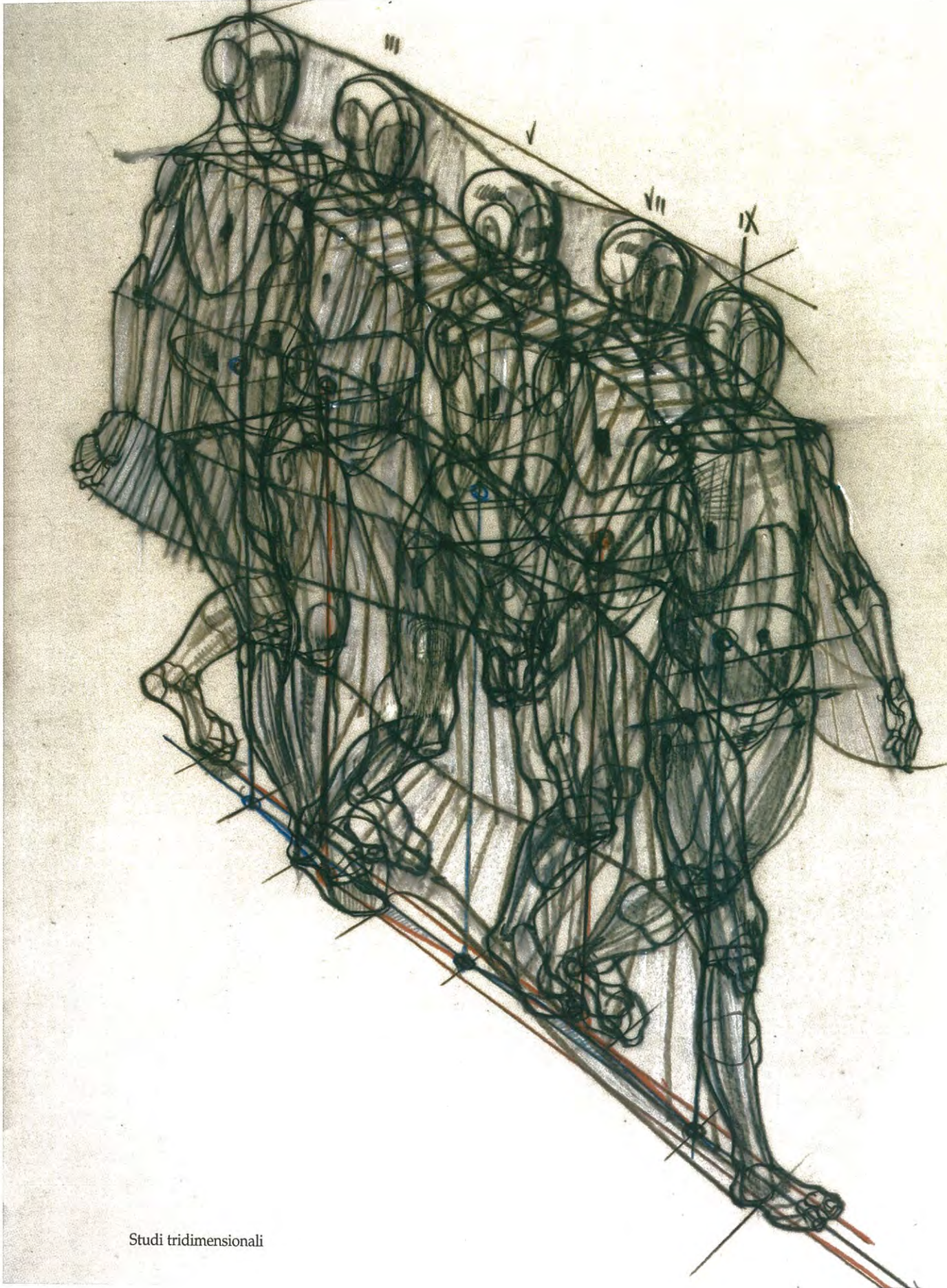
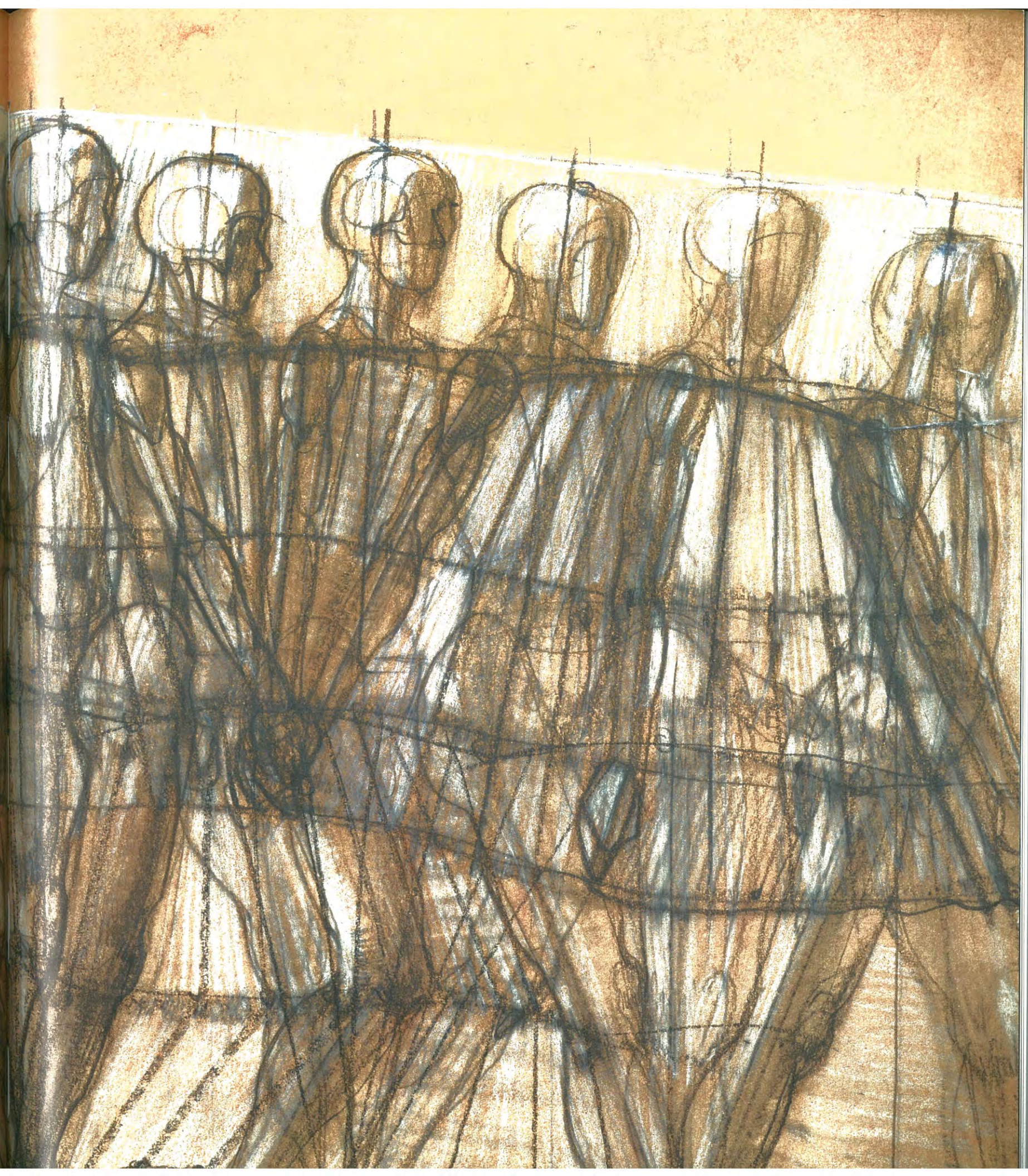
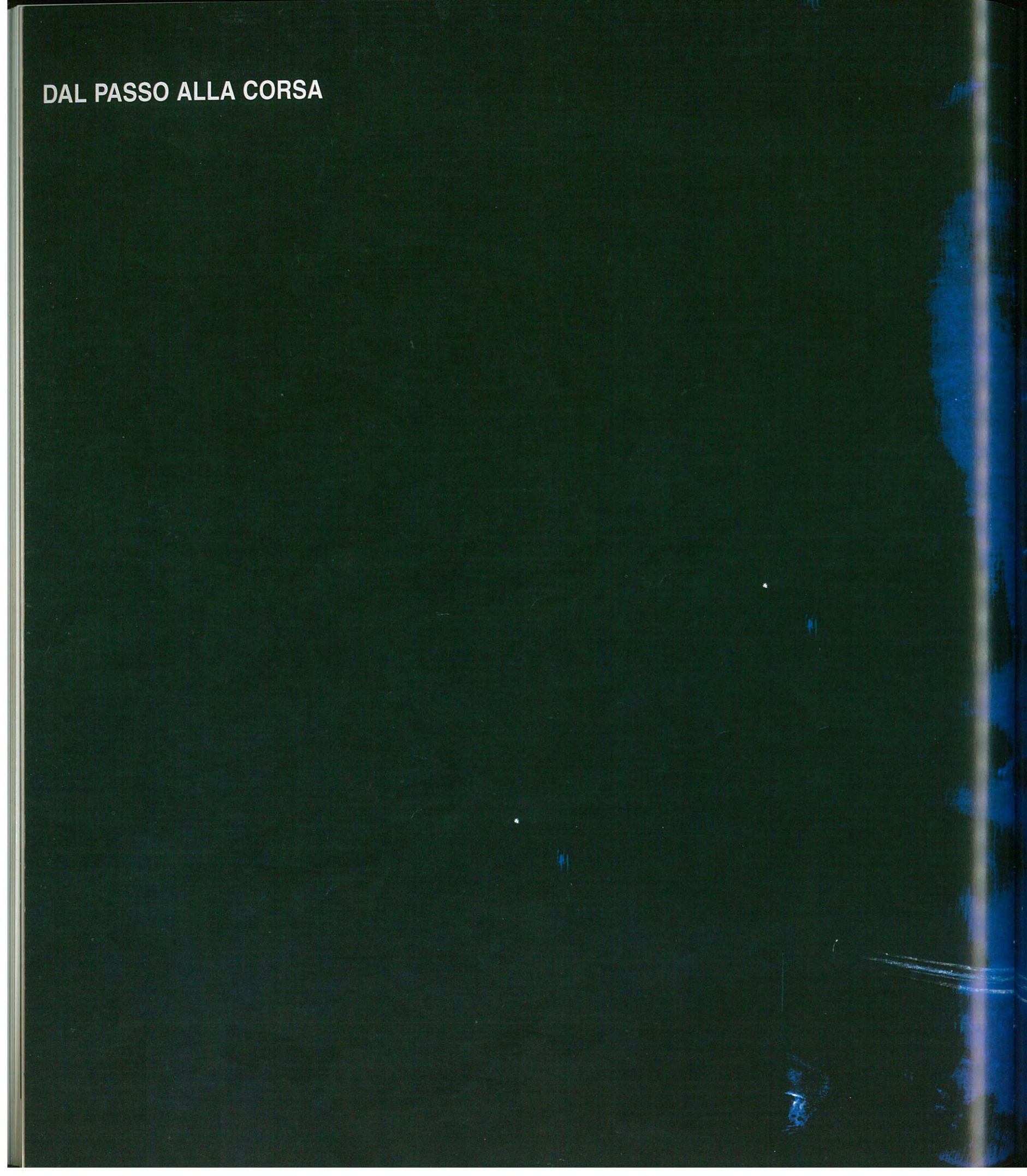
b. bacino (perimetro)
s.a. spina iliaca anteriore superiore
s.p. spina iliaca posteriore superiore
a. perimetro della sezione orizzontale delle anche
t. perimetro della sezione orizzontale del torace
s. perimetro della sezione orizzontale delle spalle

c.m.
a.
t.
s.
sovrapposizione
I
V
IX

I
V
IX
I
V
IX
s.
t.
a.

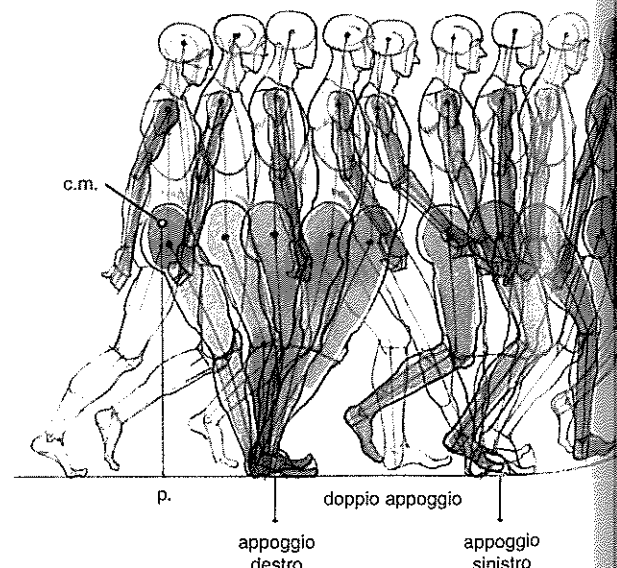
Tav. IV

Studi tridimensionali

Figg. A, B
Spostamento laterale dell'equilibrio del corpo sull'arto portante destro.
p. linea di proiezione al suolo proveniente dal baricentro (c.m.)

DAL PASSO ALLA CORSA

LA CORSA

I meccanismi generali di movimento osservati nell'andatura del passo sono presenti anche nella corsa. La dinamica della corsa, tuttavia, presenta anche altre caratteristiche, e molto specifiche.
Nella corsa, anzitutto, la fase di doppio appoggio, presente nella sequenza del passo, è sostituita da una fase di doppia sospensione nella quale, per un breve momento, entrambi i piedi sono staccati dal suolo e il corpo rimane sospeso (Fig. A). La sequenza che ne risulta è composta dalle seguenti fasi: di appoggio destro, di doppia sospensione, di appoggio sinistro, di doppia sospensione.
La corsa, quindi, può essere concepita come una successione di piccoli salti, durante la quale l'andamento del baricentro del corpo appare radicalmente modificato rispetto a quello dell'andatura del passo. Infatti mentre nella fase di doppio appoggio, peculiare del passo, esso si trova nel suo punto più basso, nella fase della doppia sospensione, tipica della corsa, il baricentro è nella sua posizione più elevata.
Inoltre nella corsa l'inclinazione in avanti del tronco è di 15-20°, maggiore che nel passo. Da ciò deriva una maggiore obliquità della coscia e un abbassamento complessivo del corpo e del centro di massa o baricentro (Figg. A, B). Di conseguenza l'oscillazione laterale del corpo è più contenuta rispetto a quella del passo, anche perché la distanza tra la punta del piede in appoggio al suolo e la linea mediana di andamento della corsa è più ridotta, e anzi nella corsa veloce i due piedi poggiano consecutivamente sulla stessa linea mediana.
Anche l'appoggio del piede, nella corsa, differisce da quello del passo. Mentre, infatti, nella fase di arto portante del passo il piede poggia al suolo con il tallone, nella fase di appoggio della corsa il piede tocca il suolo con tutta la pianta, e nella corsa veloce il tallone addirittura non tocca mai il suolo per cui il peso del corpo grava quasi esclusivamente sull'avampiede.
Infatti poiché con l'aumento della velocità della corsa aumenta la forza di impatto al suolo, il punto di appoggio deve disporre di una superficie più ampia di quella del tallone. L'appoggio sull'avampiede e una maggiore inclinazione del busto, dunque, mantengono il baricentro più basso e permettono un avanzamento più veloce.

E. J. Marey, *Analisi cronofotografica sull'arto destro. Differenze fra la frequenza ritmica del passo* (sopra) *e della corsa* (sotto), 1886. Beaune, Musée E.J. Marey et des Beaux-Arts

Fig. A
Dal passo alla corsa, mutamento della frequenza ritmica.
Andamento del baricentro dalla fase d'appoggio del piede destro, alla fase di doppia sospensione, sino alla fase d'appoggio del piede sinistro.
c.m. centro di massa o baricentro
p. proiezione al suolo della linea di gravità

B

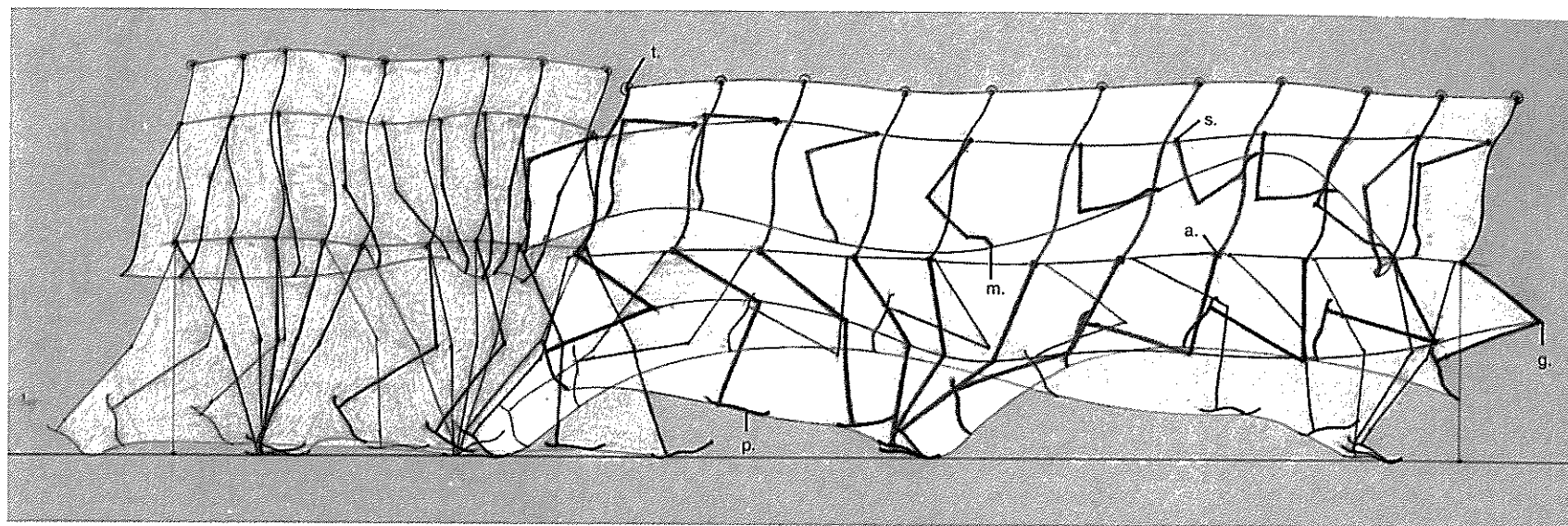



Fig. B
Confronto fra l'andatura del passo e della corsa.
In quest'ultima si nota una maggiore inclinazione del tronco e degli arti inferiori.
t. centro della testa
s. centro della spalla
m. margine inferiore della mano
a. centro dell'anca
g. centro del ginocchio
p. margine plantare del piede

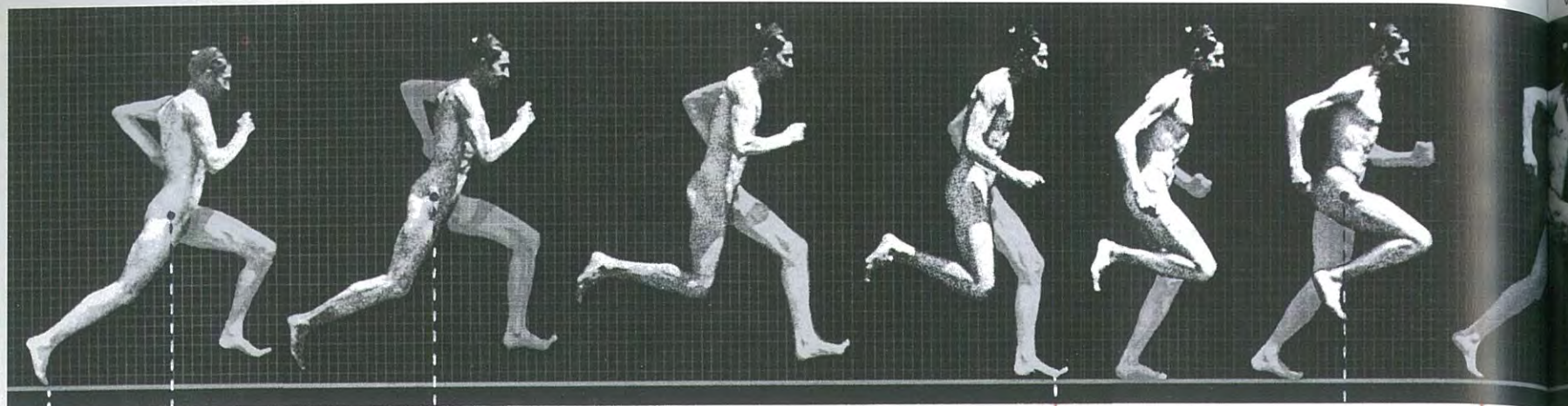
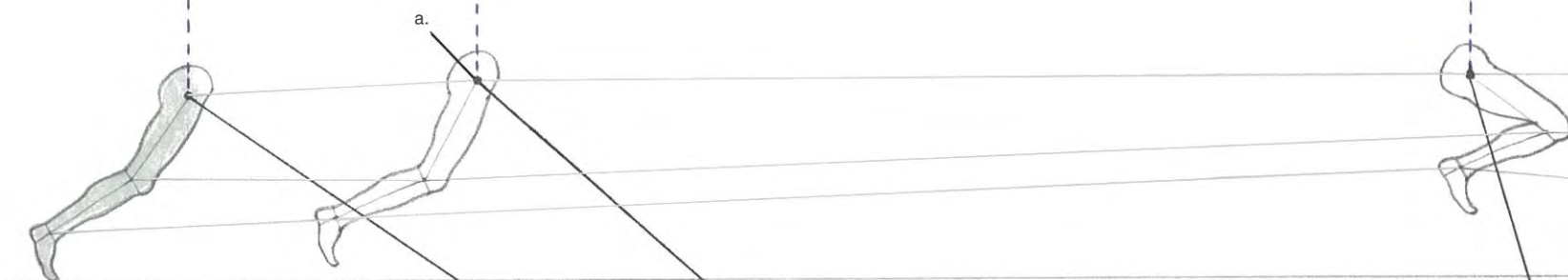
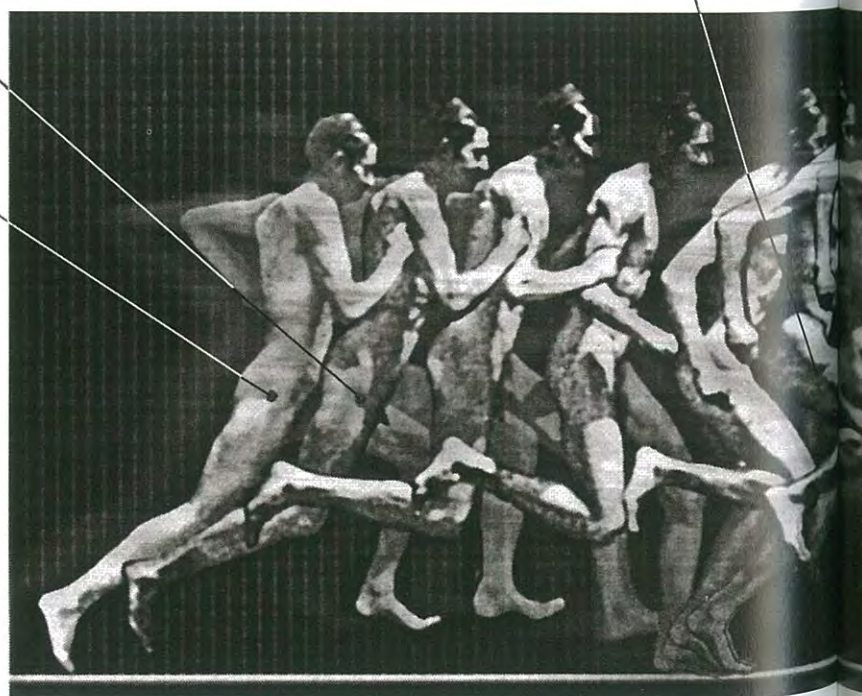
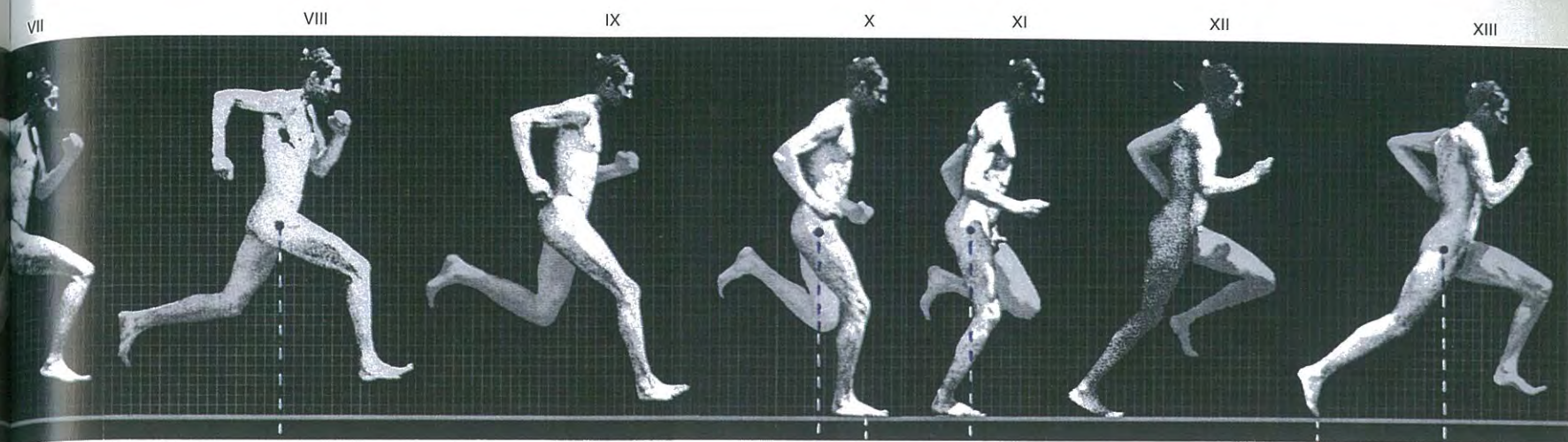
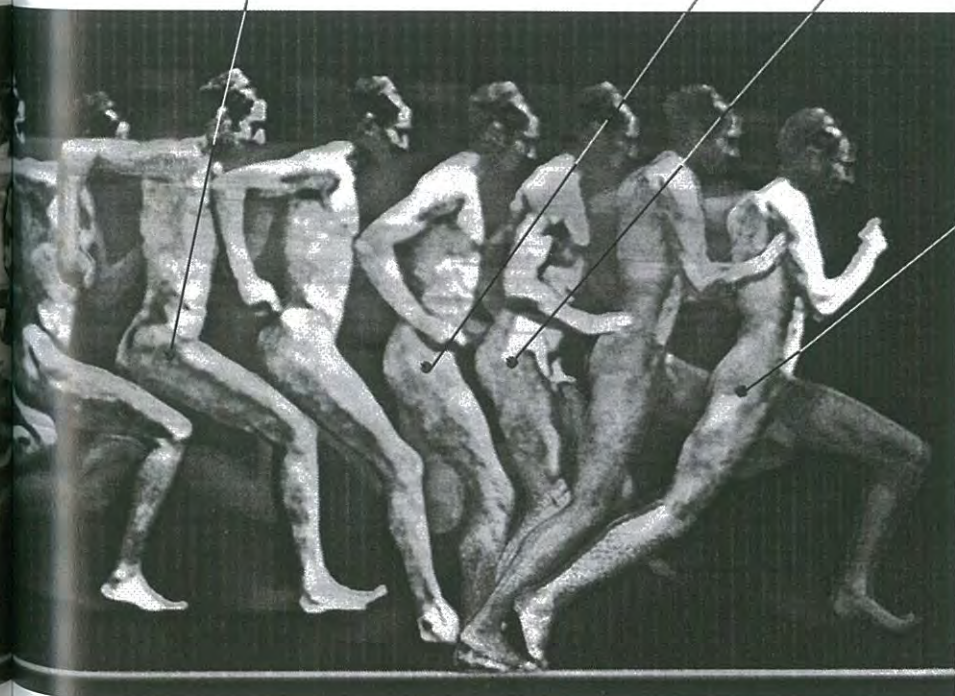
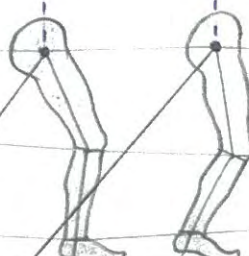
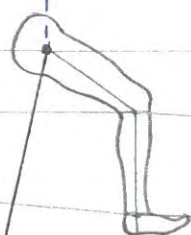
A

FASI E MISURE DELLA CORSA

L'inizio della sequenza dinamica caratteristica della corsa può essere individuato nel momento in cui il corpo si stacca dal suolo con il piede di appoggio, che chiameremo movimento di allontanamento. La fine della sequenza coinciderà con l'allontanamento successivo compiuto dallo stesso piede (nella nostra sequenza il destro).

La sequenza completa sarà composta di tredici fasi così ordinate: di allontanamento del piede destro (Fase I), di doppia sospensione (o volo) di entrambi gli arti (Fasi II, III); di appoggio e allontanamento del piede sinistro (Fasi IV, V, VI, VII), di nuova doppia sospensione (Fasi VIII, IX) di nuovo appoggio e allontanamento del piede destro (Fasi X, XI, XII, XIII).

In questo modo l'andatura della corsa risulta costituita da due balzi consecutivi di lunghezza variabile a seconda della velocità e misurabili sulla distanza dal piede in allontanamento a quello in appoggio.

Fig. A
Andamento del piede destro e sinistro sulla distanza percorsa durante il ciclo completo delle tredici fasi, e scia del piede destro nella traiettoria di sollevamento.

Sequenza della corsa. Elaborazione da E. Muybridge

Nella sequenza delle tredici fasi della corsa ciascuno dei due arti inferiori compie diversi movimenti: di allontanamento (nella fase di appoggio), di sollevamento, slancio, frenaggio e assestamento (nelle fasi di sospensione). Sono movimenti che rispondono ai principi generali della meccanica ritmica di accelerazione e rallentamento: un meccanismo ciclico di slancio e frenata azionato dal movimento propulsivo dell'arto inferiore e osservabile nelle singole posture dei due segmenti della gamba e della coscia. Nello slancio, in particolare, la gamba flette all'indietro, sfruttando la forza della spinta accumulata nell'allontanamento, mentre in frenaggio e assestamento si abbassa e avanza per predisporsi all'appoggio.

Movimenti dell'arto inferiore destro analizzati nei segmenti della coscia, della gamba e del piede: nel movimento di appoggio (grigio) e in quello di sospensione (chiaro).
a. centro dell'anca

Dalla Fase I alla Fase II – Sollevamento
Dalla Fase III alla Fase VI – Slancio
Dalla Fase VI alla Fase VIII – Frenaggio
Dalla Fase VIII alla Fase X – Assestamento
Dalla Fase X alla Fase XIII – Ammortizzamento e allontanamento

Allontanamento (Fase I)

È il movimento che coincide con la spinta del corpo in avanti e che incomincia con una progressiva estensione della coscia e della gamba dell'arto inferiore. La minore altezza del baricentro, l'inclinazione del tronco in avanti e un'accentuazione della flessione dorsale del piede porteranno l'arto, alla fine del suo appoggio, a formare un angolo acuto con il terreno, aumentando in questo modo la componente orizzontale della spinta nel momento dello stacco rispetto a quella più verticale del passo.

Sollevamento (dalla Fase I alla Fase II)

Incomincia con lo stacco dal suolo del piede di appoggio e termina con l'inizio del movimento di slancio.
Nel movimento di sollevamento la coscia viene portata alla sua massima inclinazione posteriore rispetto alla linea verticale passante per il baricentro del corpo.

Slancio (dalla Fase II alla Fase VI)

Mentre la coscia incomincia a spostarsi in avanti, si verifica una progressiva flessione posteriore della gamba che culmina nella Fase V: la gamba sfrutta la spinta subita in precedenza nella fase di sollevamento e si flette all'indietro in modo tale da essere portata posteriormente e in alto avvicinandosi in questo modo al bacino.

Frenaggio (dalla Fase VI alla Fase VIII) e assestamento (dalla Fase VIII alla Fase X)

Il movimento frenante inizia quando il movimento di slancio ha esaurito la sua azione propulsiva che coincide con il momento di maggiore velocità.
La spinta propulsiva permette alla coscia di continuare il suo movimento in avanti e in alto oltre la fine della fase di slancio (Fase VI), e di raggiungere la sua massima elevazione nella Fase VII; mentre, già a partire dalla Fase V, la gamba, dopo aver toccato il massimo grado di flessione posteriore nello slancio, incomincia un movimento opposto di progressiva estensione in avanti in funzione di frenaggio per assicurare al piede l'assetto più idoneo all'atterraggio. Il movimento frenante termina quando la gamba si trova in posizione ortogonale rispetto al suolo e il piede è parallelo ad esso (Fase VIII). A questo punto incomincia la fase di assestamento della gamba che si predispone all'impatto con il suolo (Fase X).

Ammortizzamento (dalla Fase X alla Fase XII)

È il movimento che controlla la fase iniziale dell'appoggio ed è strettamente conseguente alle fasi di frenata e di assestamento. Esso si attiva nel momento dell'impatto del piede al suolo, ed è consentito sia dalla flessione del ginocchio (resa possibile dall'allungamento della muscolatura posteriore della coscia), sia dall'inclinazione in avanti del tronco assunta nella precedente fase di assestamento con la proiezione al suolo della linea del baricentro vicino al piede in appoggio.
Questa azione permette al corpo di continuare il suo movimento in avanti eliminando la componente di decelerazione causata dall'impatto del piede con il terreno ma senza provocarne un brusco arresto.
L'ammortizzamento della spinta termina nella Fase XI con la massima flessione del ginocchio dell'arto in appoggio che porta il baricentro del corpo al punto più basso.

Nuovo allontanamento (dalla Fase XII alla Fase XIII)

Si ripetono i movimenti già considerati nella Fase I.

Fig. B
Diagrammi della traiettoria compiuta dagli arti destro (in alto) e sinistro (in basso).

Fasi dell'arto inferiore destro
Fase I in estensione (allontanamento)
Fasi II-V in graduale flessione (sollevamento e slancio)
Fasi VI-IX in progressiva estensione (frenaggio e assestamento)
Fasi X-XI in flessione (ammortizzamento)
Fasi XII-XIII in estensione (allontanamento)

Fig. C
Diagramma che permette il confronto dei movimenti simultanei degli arti destro e sinistro dalla Fase VII alla XIII.
c. centro dell'articolazione tibio-tarsica

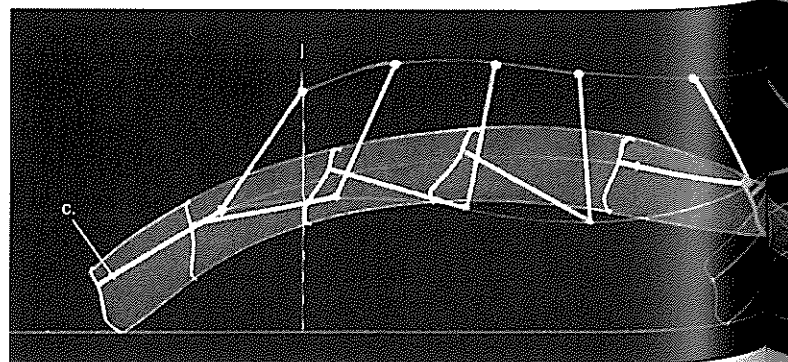
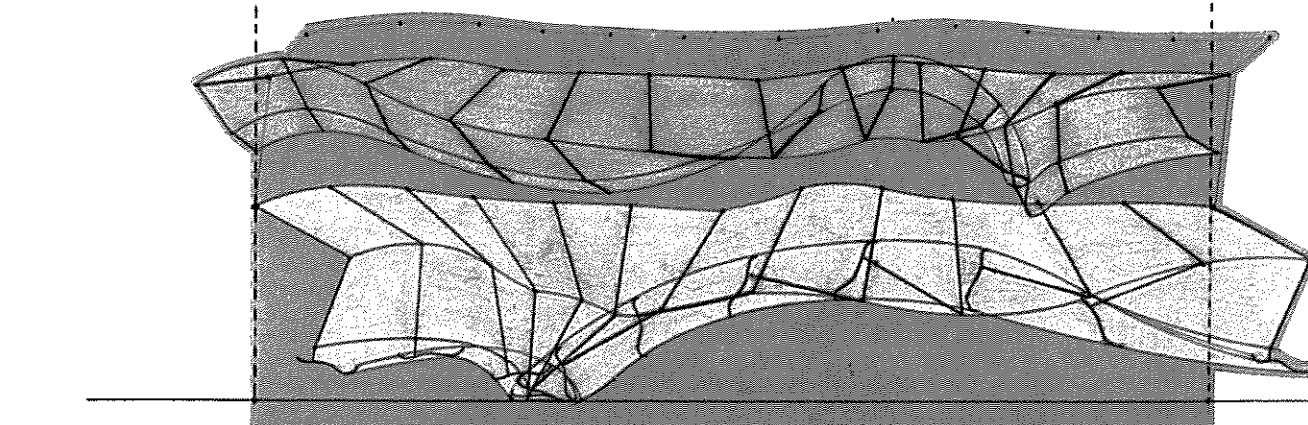
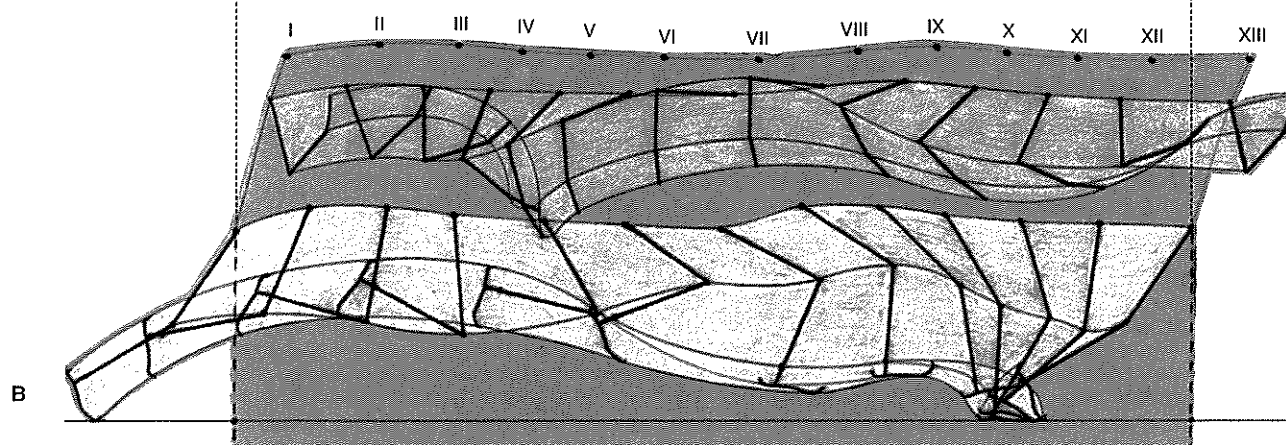
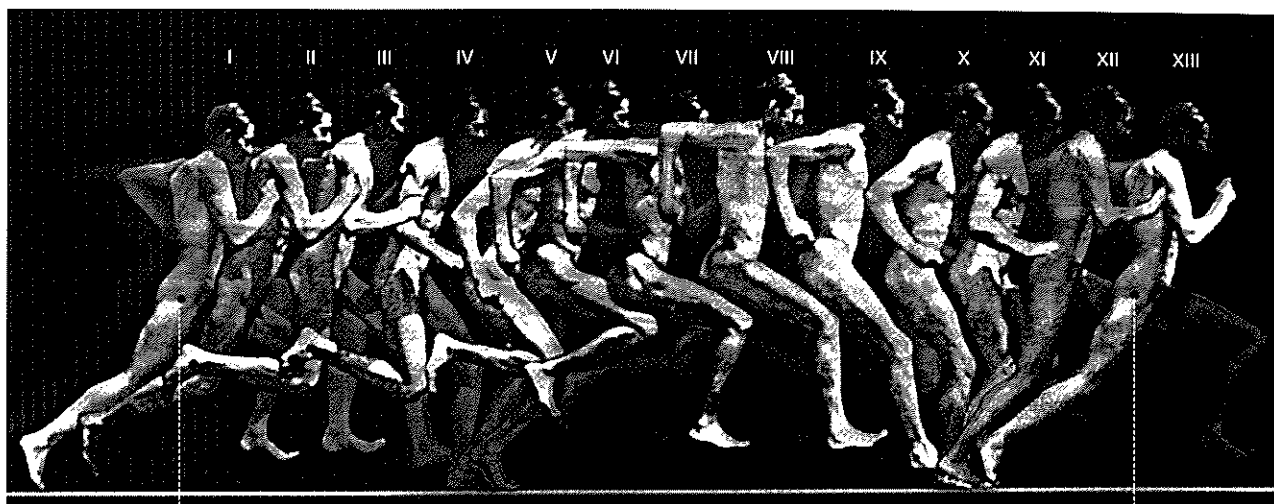
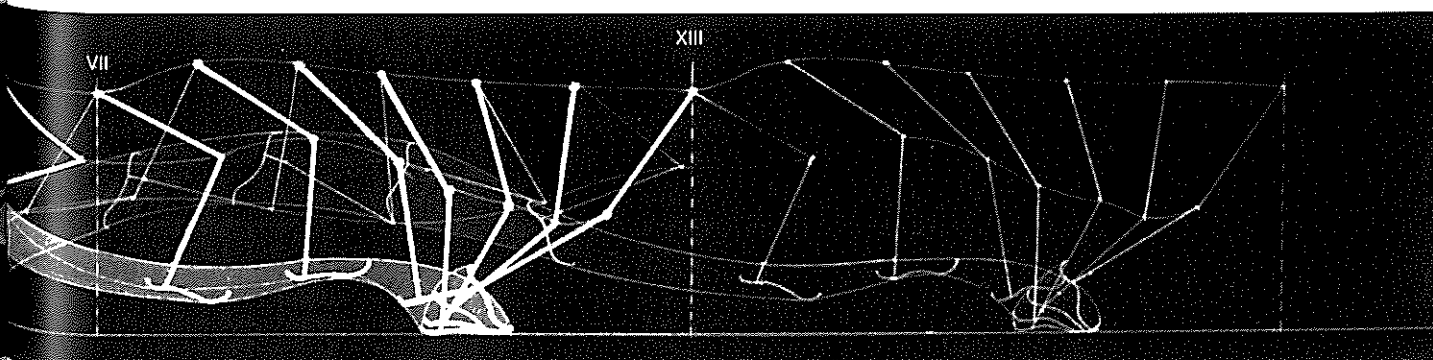
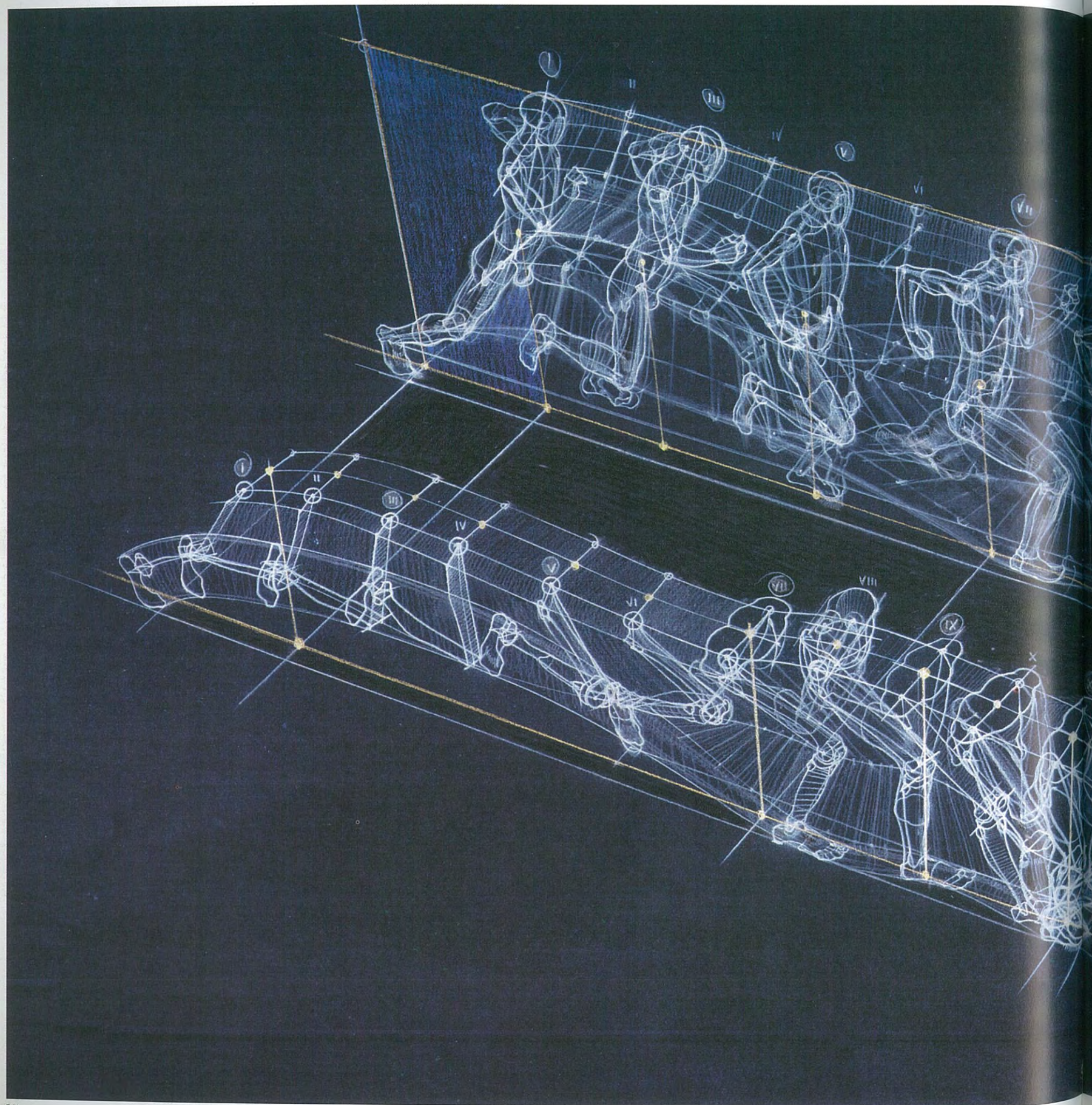
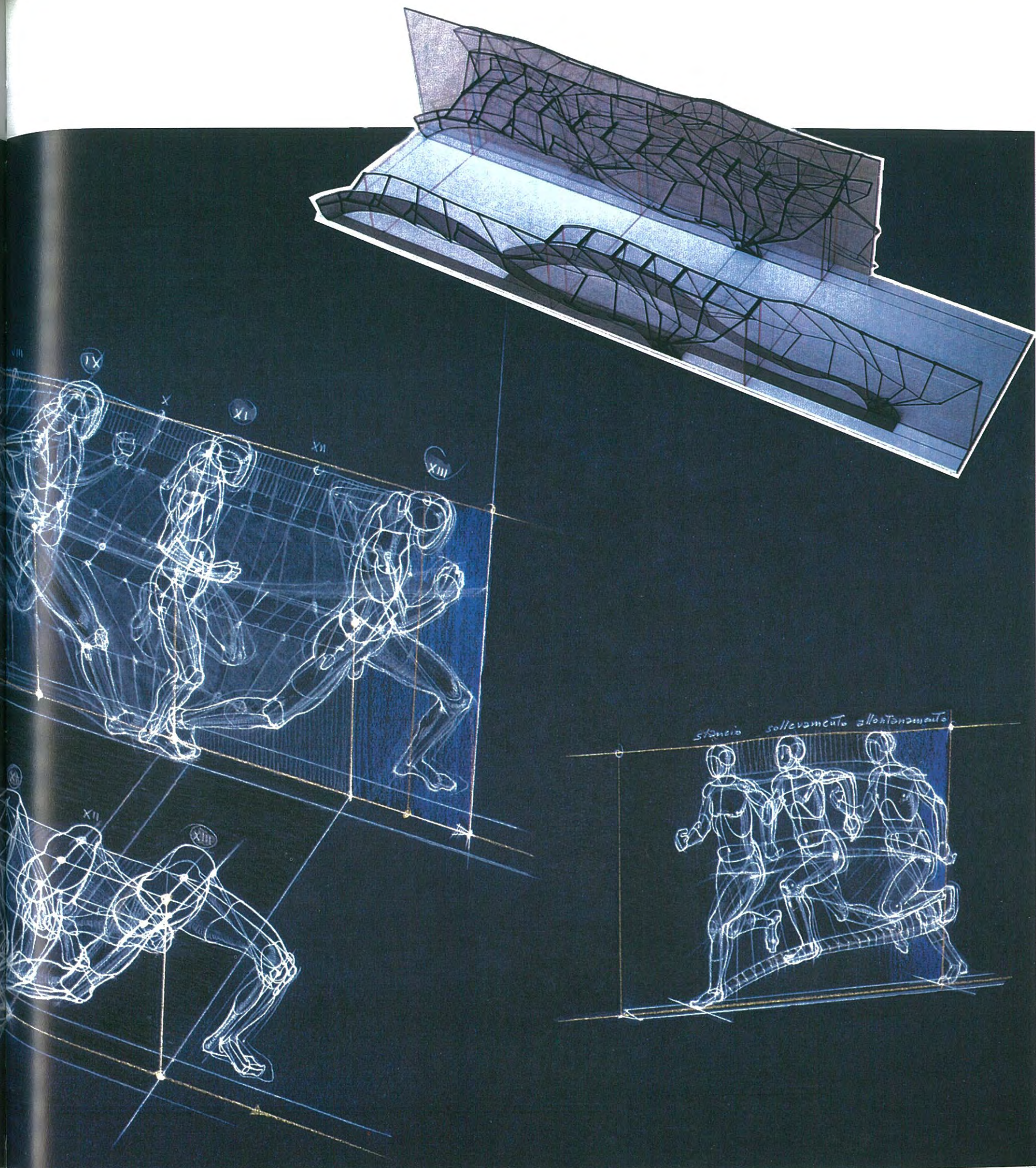
I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII XIII

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII XIII

B

C

I
II
III
IV
V
VI
VII
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X

IX
X
XI
XII
XIII
XII
XIII
slancio sollevamento allontanamento

Comportamento simultaneo degli arti inferiori nella corsa, visto in relazione alle fasi di sostegno, oscillazione e volo.

t. traiettoria di traslazione relativa ai centri articolari e alla testa

DALLA FASE I ALLA FASE III

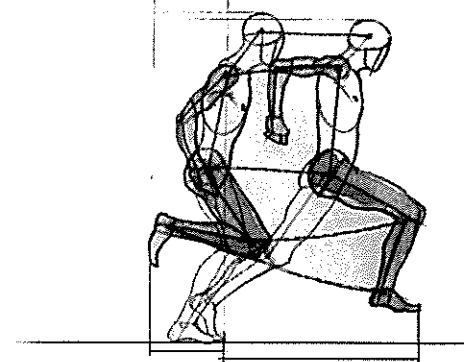
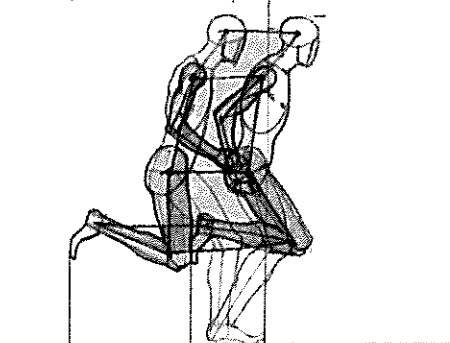
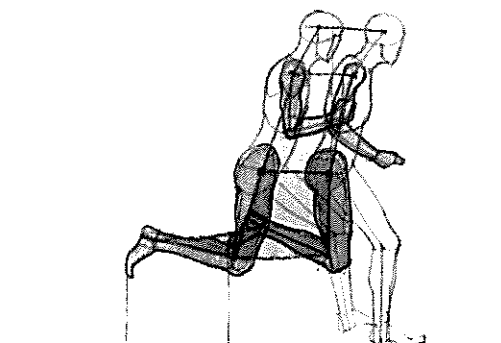
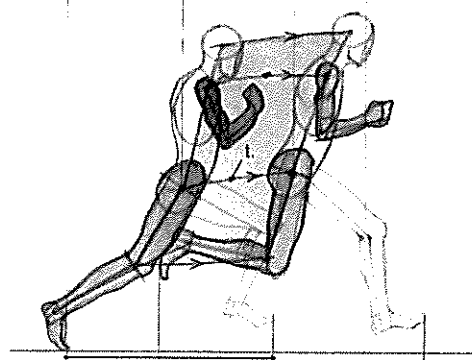
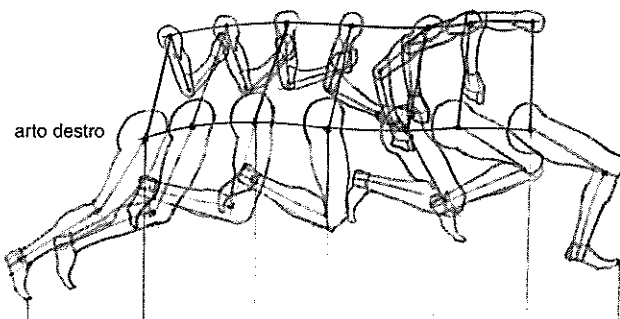
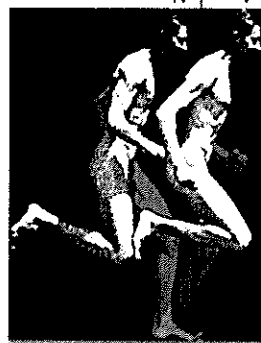
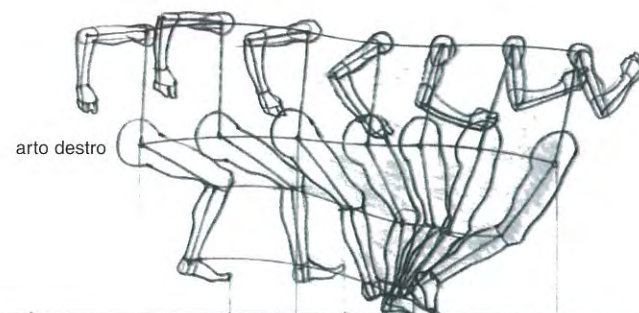
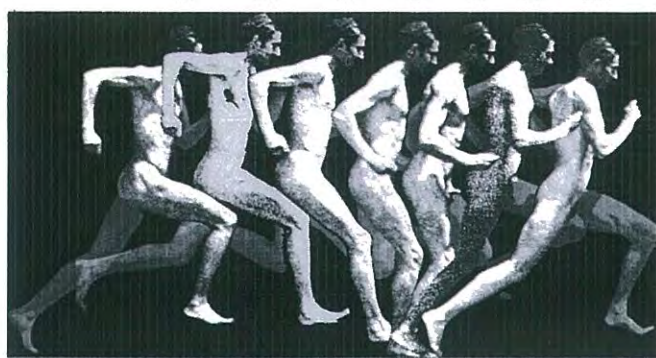
Fase I
Arto destro: si trova nella condizione finale di arto portante, appoggia al suolo con l'avampiede ed è in fase di allontanamento.
Arto sinistro: è al termine della sua azione frenante ed è ancora nella fase di arto oscillante.

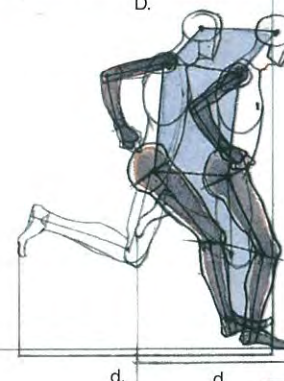
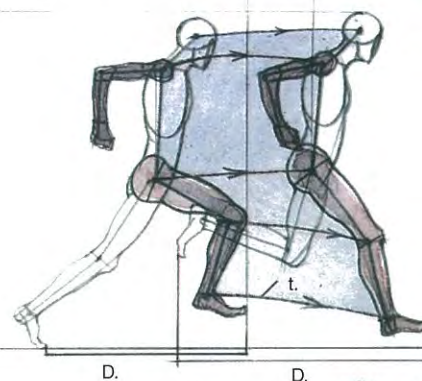
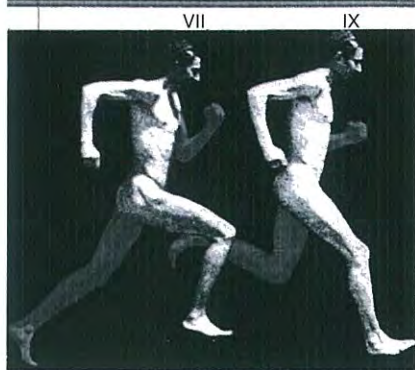
Fase III
Arto destro: conclusa la fase di sollevamento dal suolo (Fase II), inizia ora il movimento di slancio.
Arto sinistro: è in piena fase di assestamento prima dell'appoggio al suolo.
Entrambi gli arti sono nella situazione di doppia sospensione o volo.

DALLA FASE III ALLA FASE IV

Fase IV
Arto destro: è nel movimento di massimo slancio e inizia ora il suo periodo di oscillazione.
Arto sinistro: entra nella sua fase di sostegno e di ammortizzamento.

DALLA FASE IV ALLA FASE V

Fase V
Arto destro: è al termine della sua fase di slancio.
Arto sinistro: fine della fase di ammortizzamento.
Questa fase può ritenersi completata quando le ginocchia si trovano alla medesima altezza dal suolo e la verticale del baricentro cade sull'avampiede all'altezza delle ossa metatarsali.

DALLA FASE V ALLA FASE VII

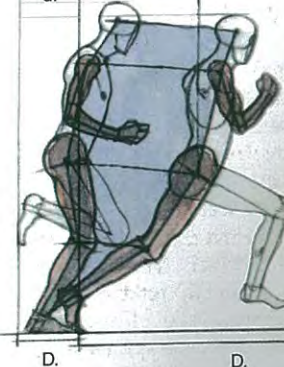
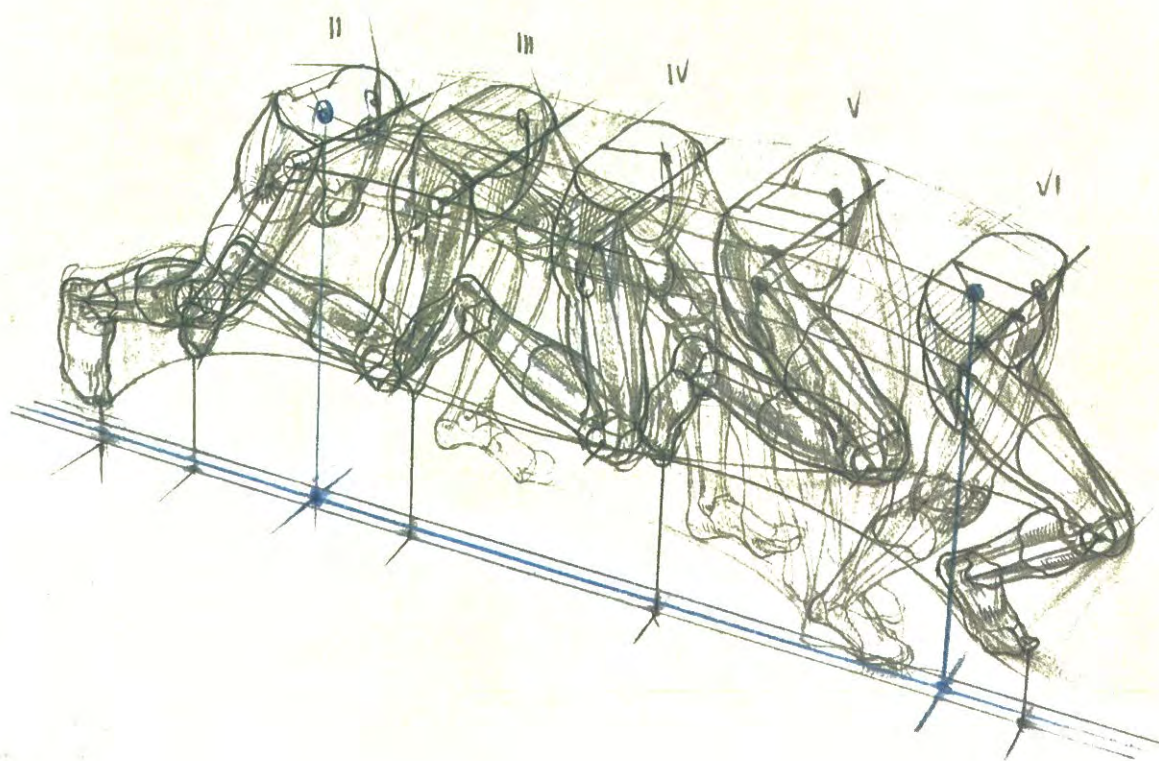
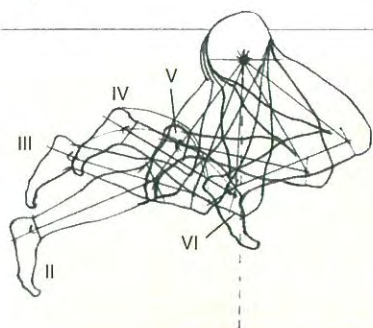
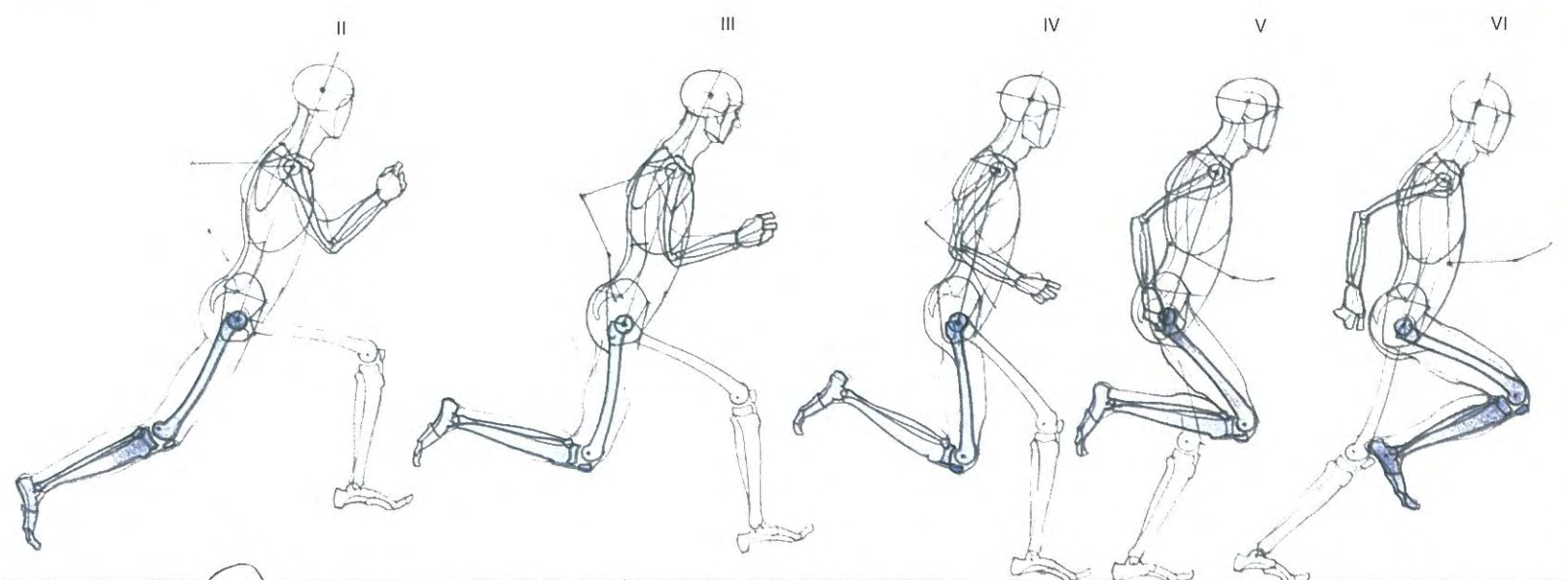
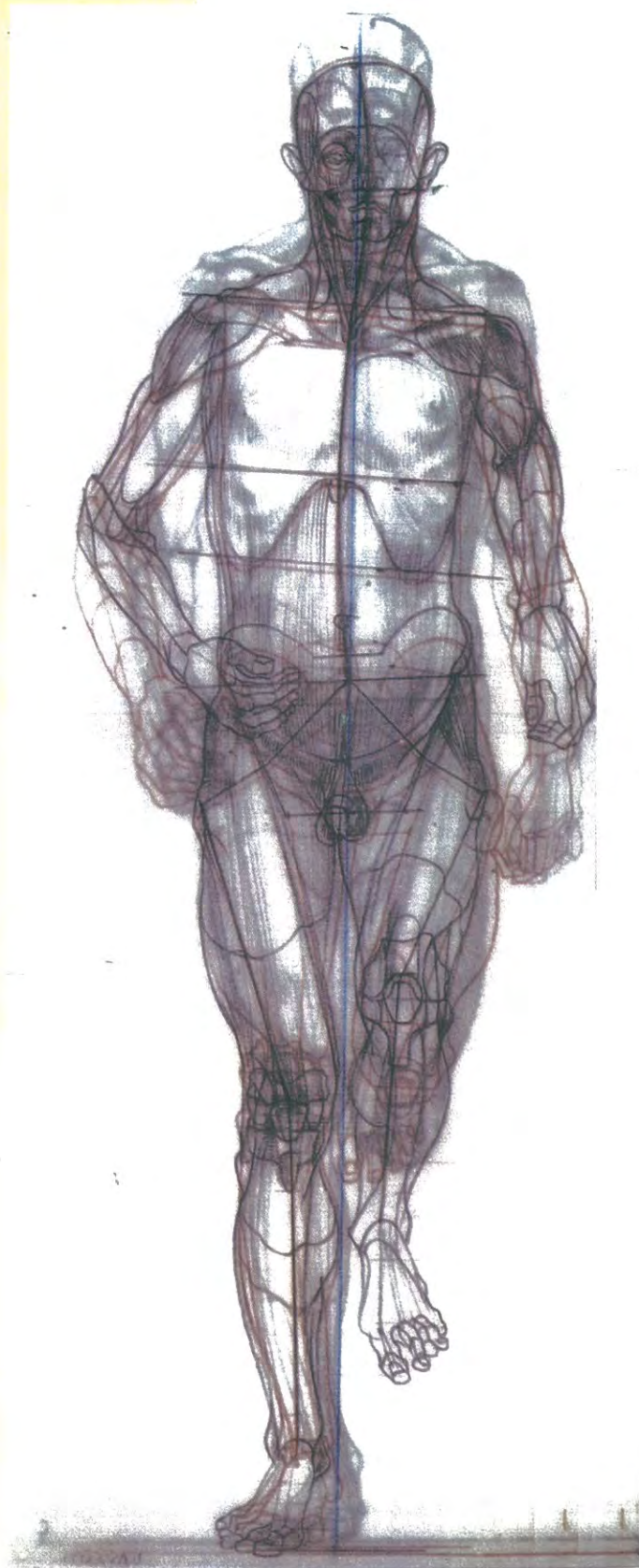
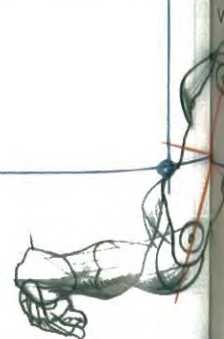
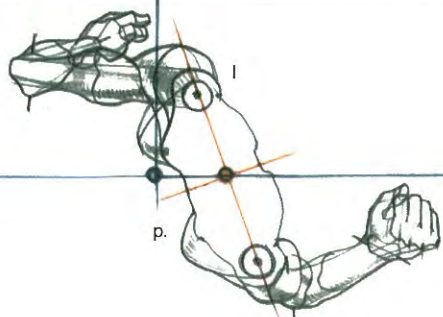
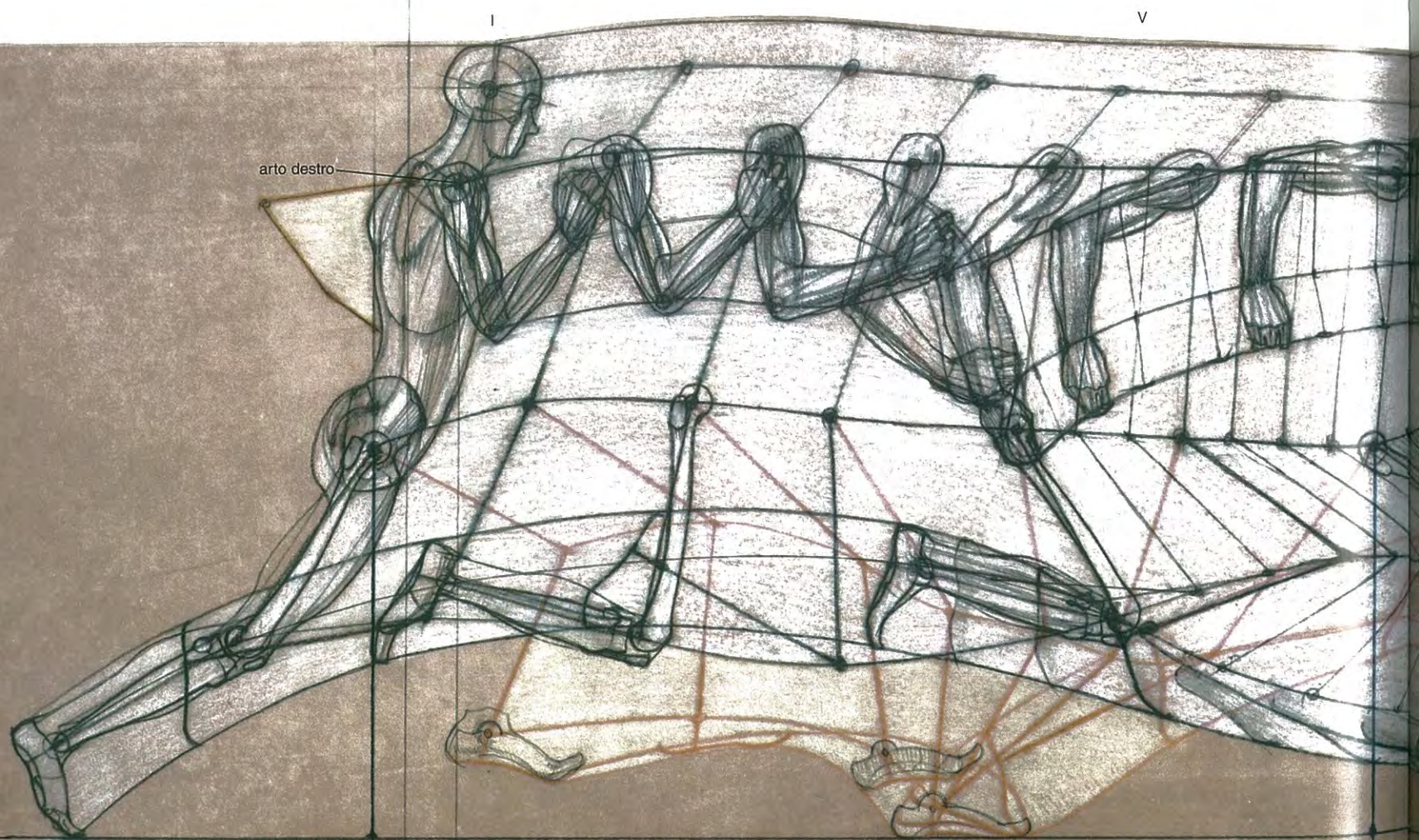
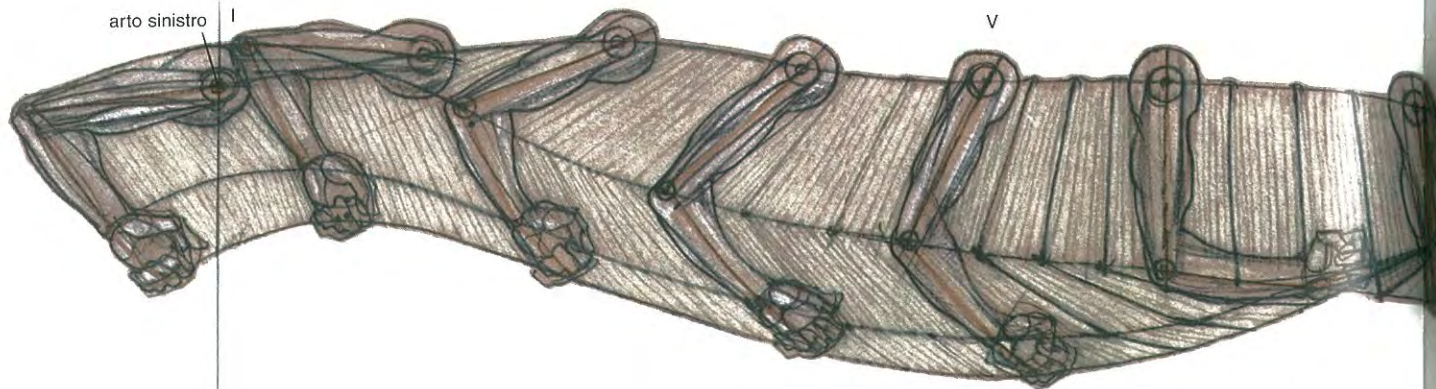
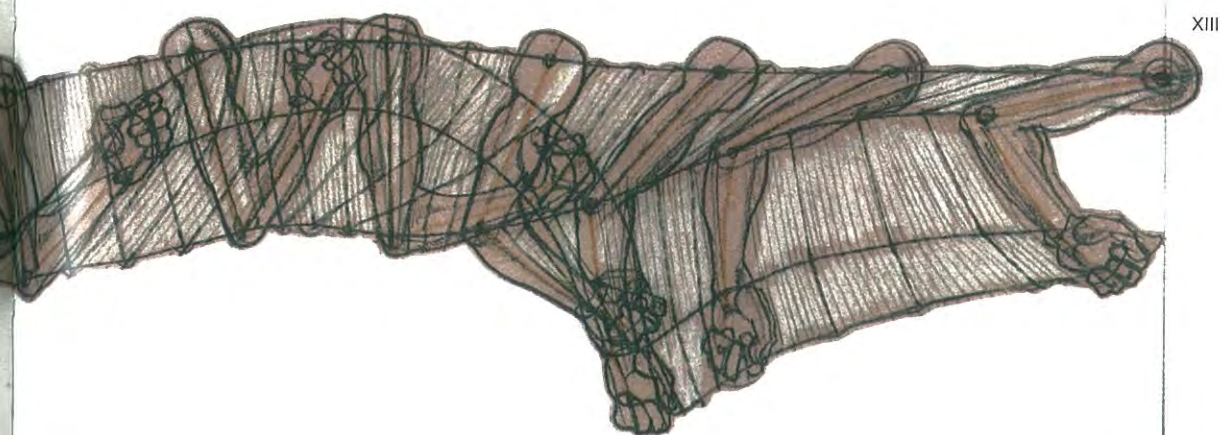
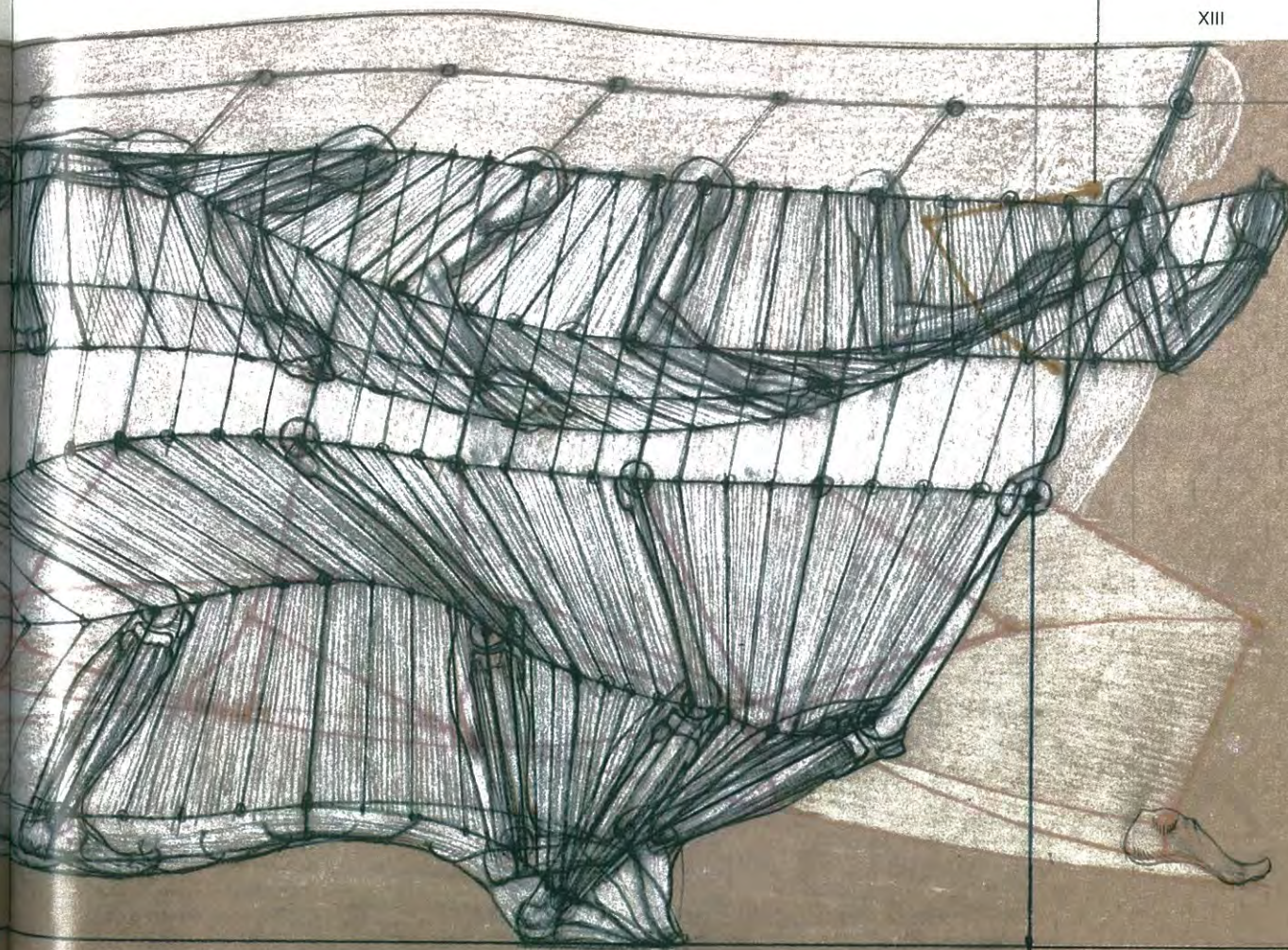
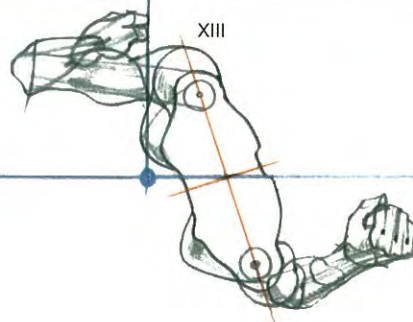
Fase VII
Arto destro: dopo aver iniziato già nella Fase VI il suo movimento frenante, la gamba si abbassa e il piede perde di velocità per predisporsi in modo graduale al suo nuovo appoggio al suolo, descritto nella Fase X. L'oscillazione dell'arto (dalla Fase IV alla VII) trasferisce l'energia del suo slancio al bacino, trasportandolo in avanti. Inoltre, alla fine del movimento oscillante, agisce sull'anca corrispondente portandola più in avanti rispetto all'altra, in modo tale che l'arto che avanza si predisponga all'appoggio.
Arto sinistro: è in fase di allontanamento e alla fine della sua fase di sostegno.

DALLA FASE VII ALLA FASE XIII

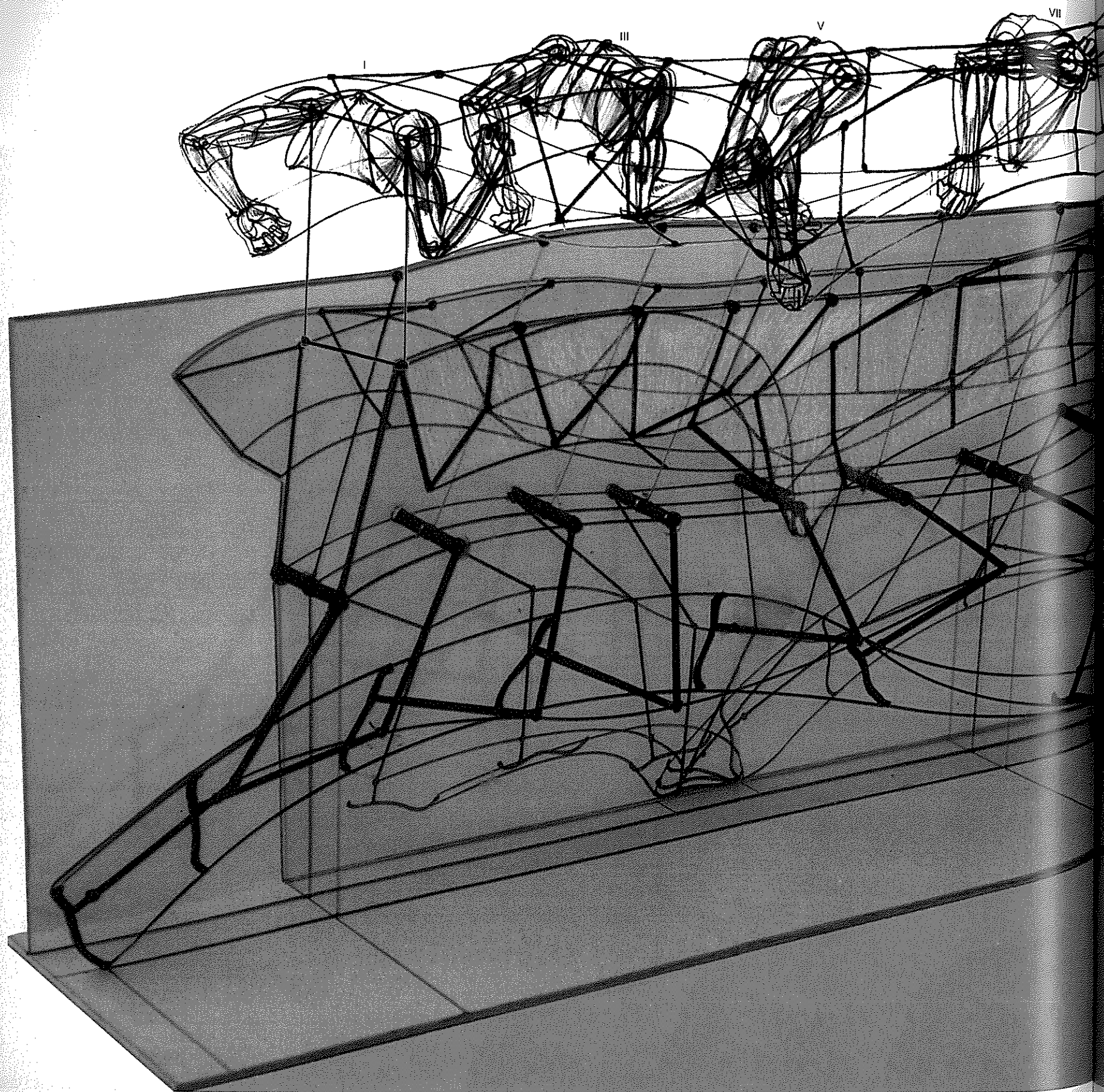
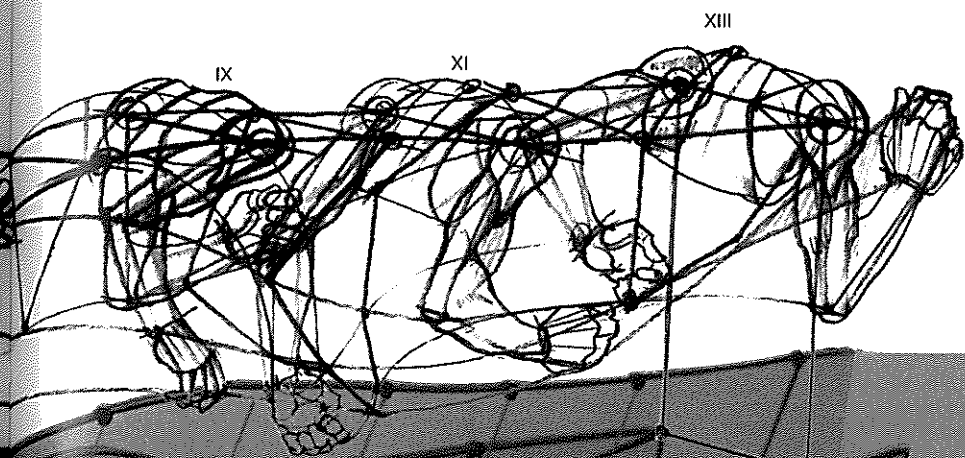
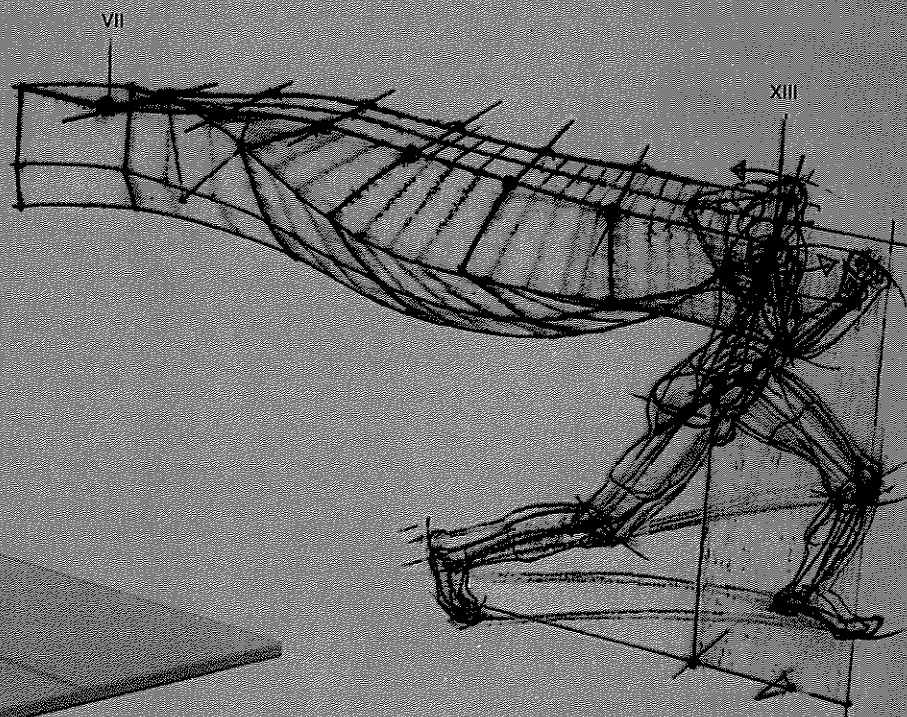
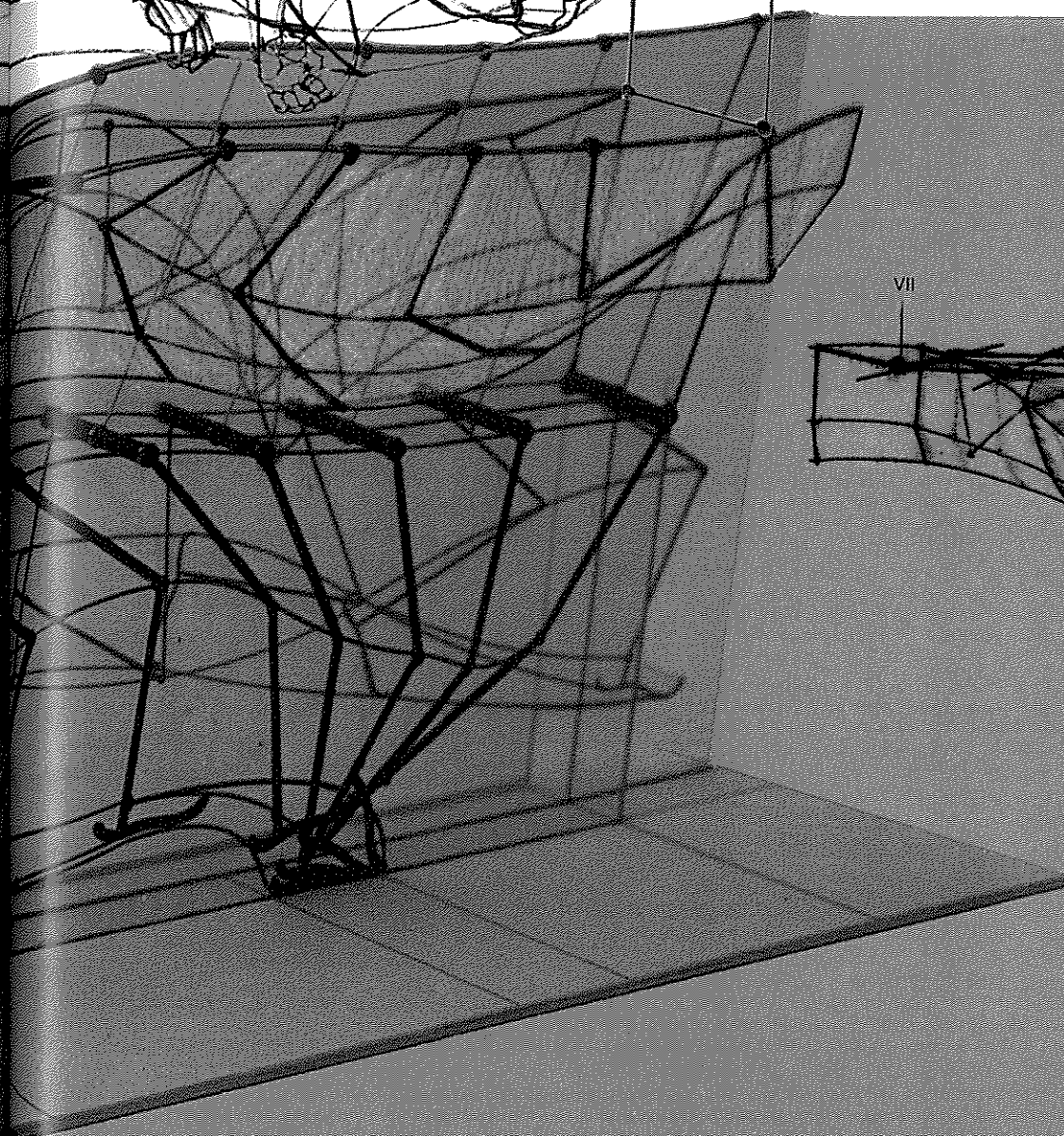
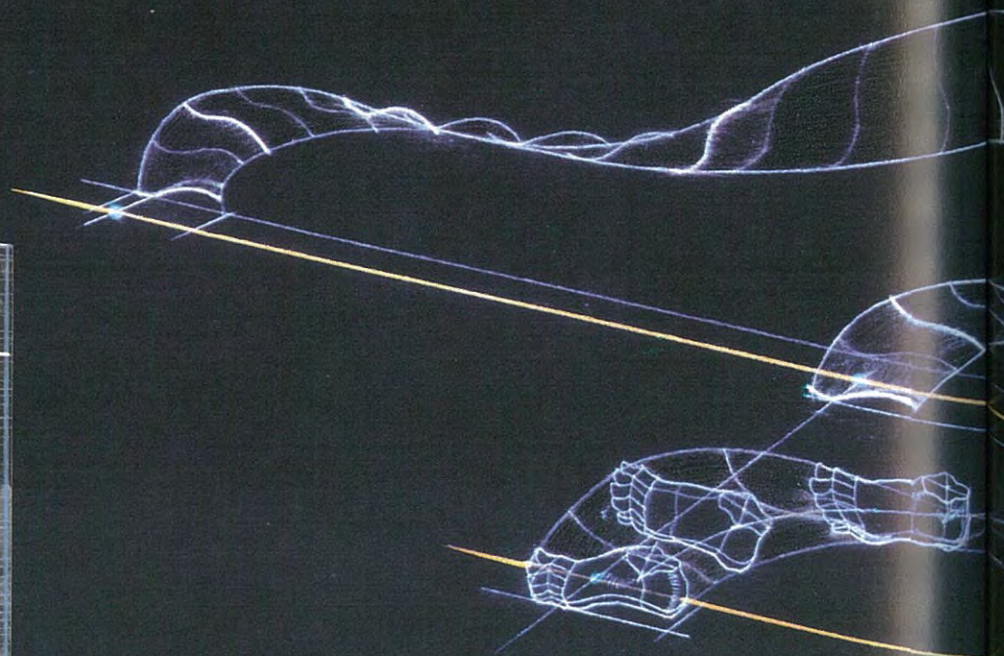
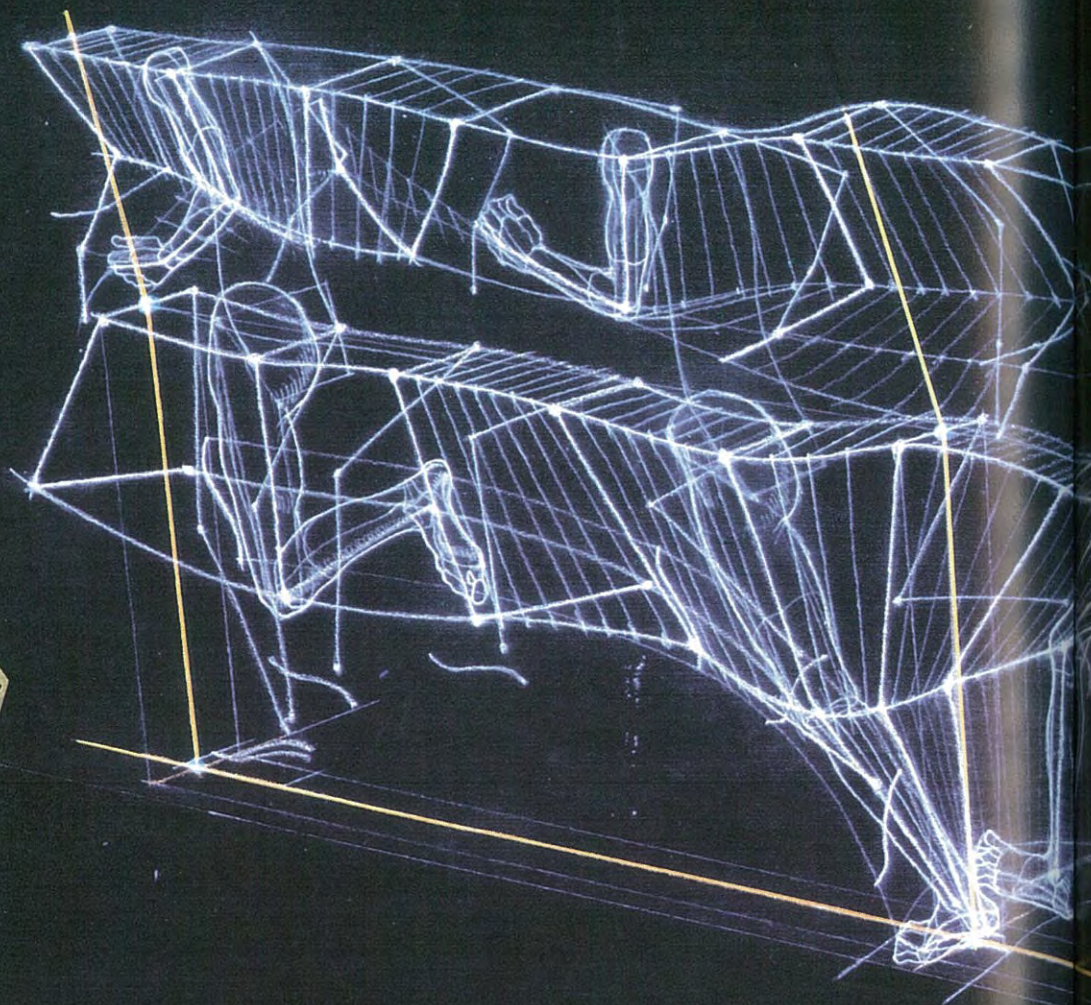
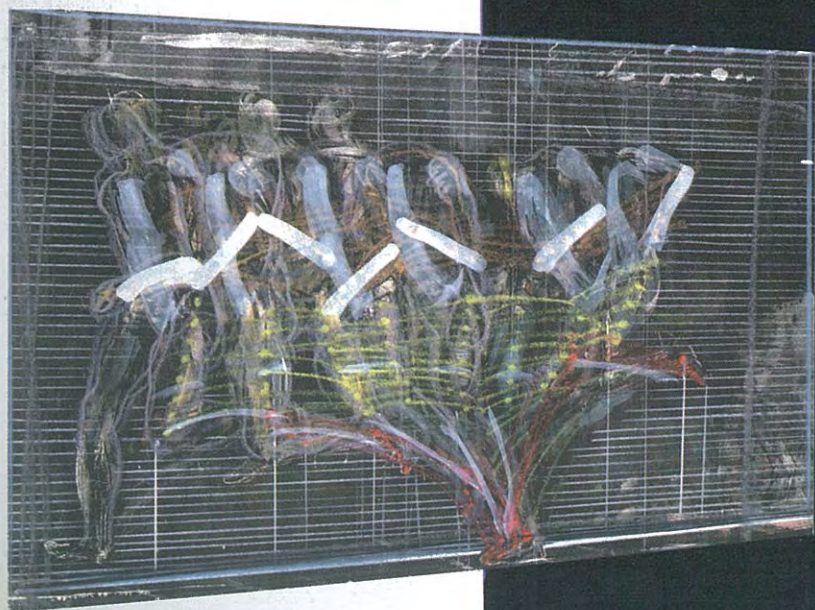
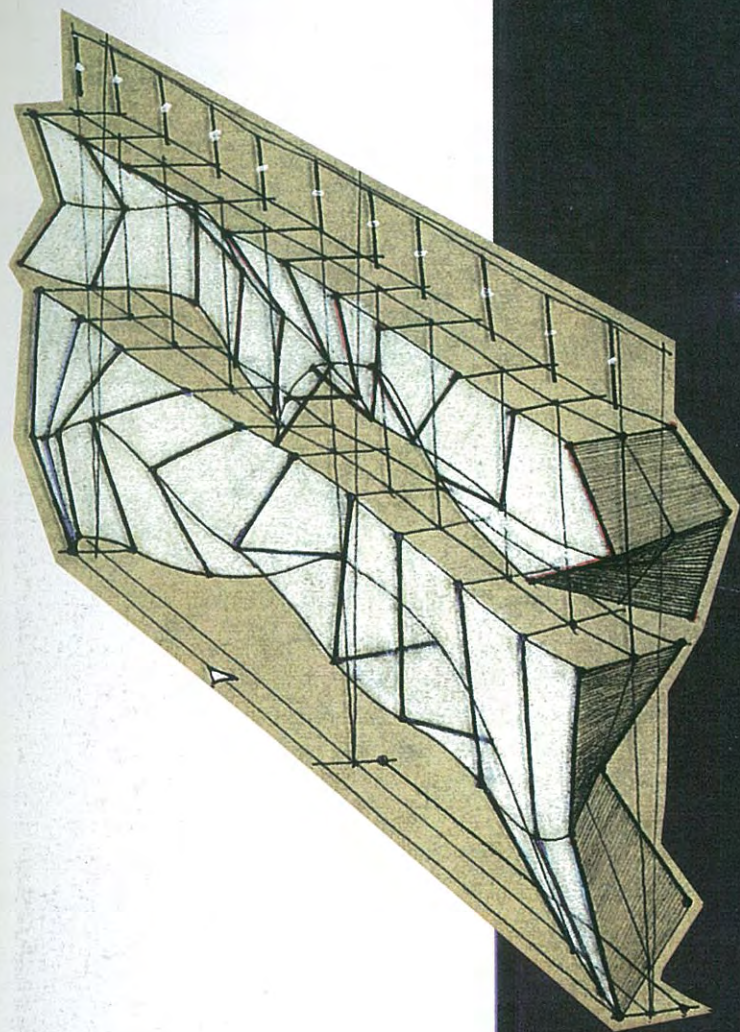
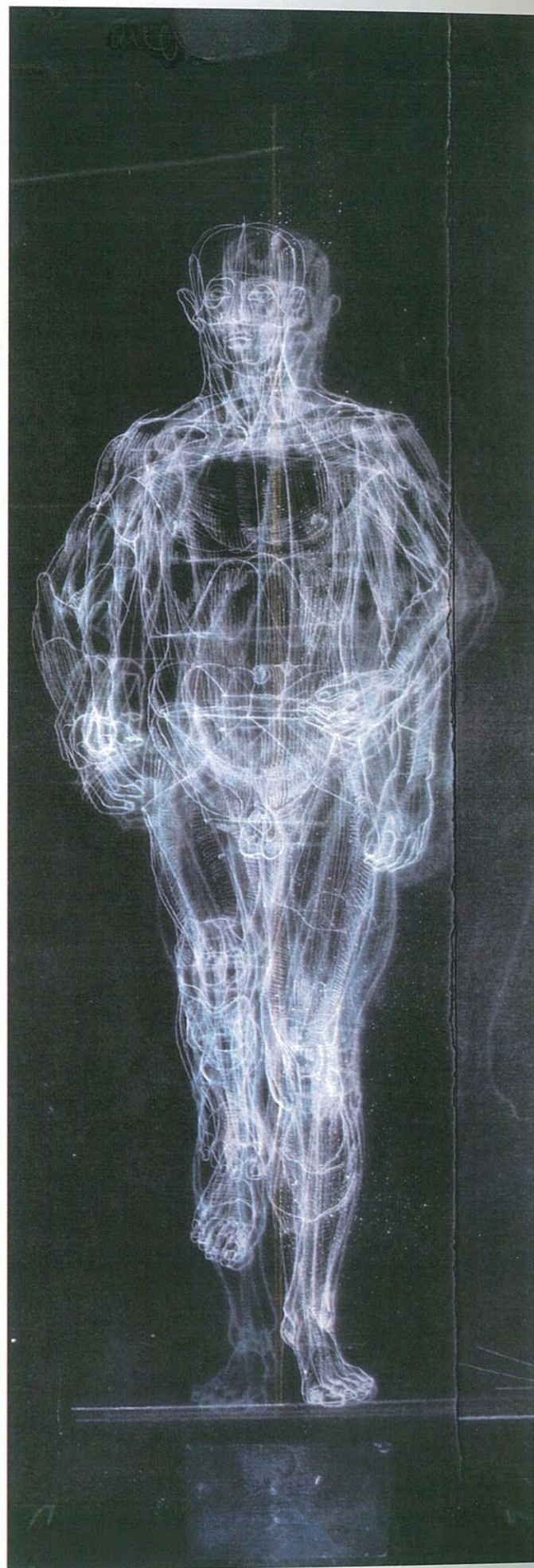
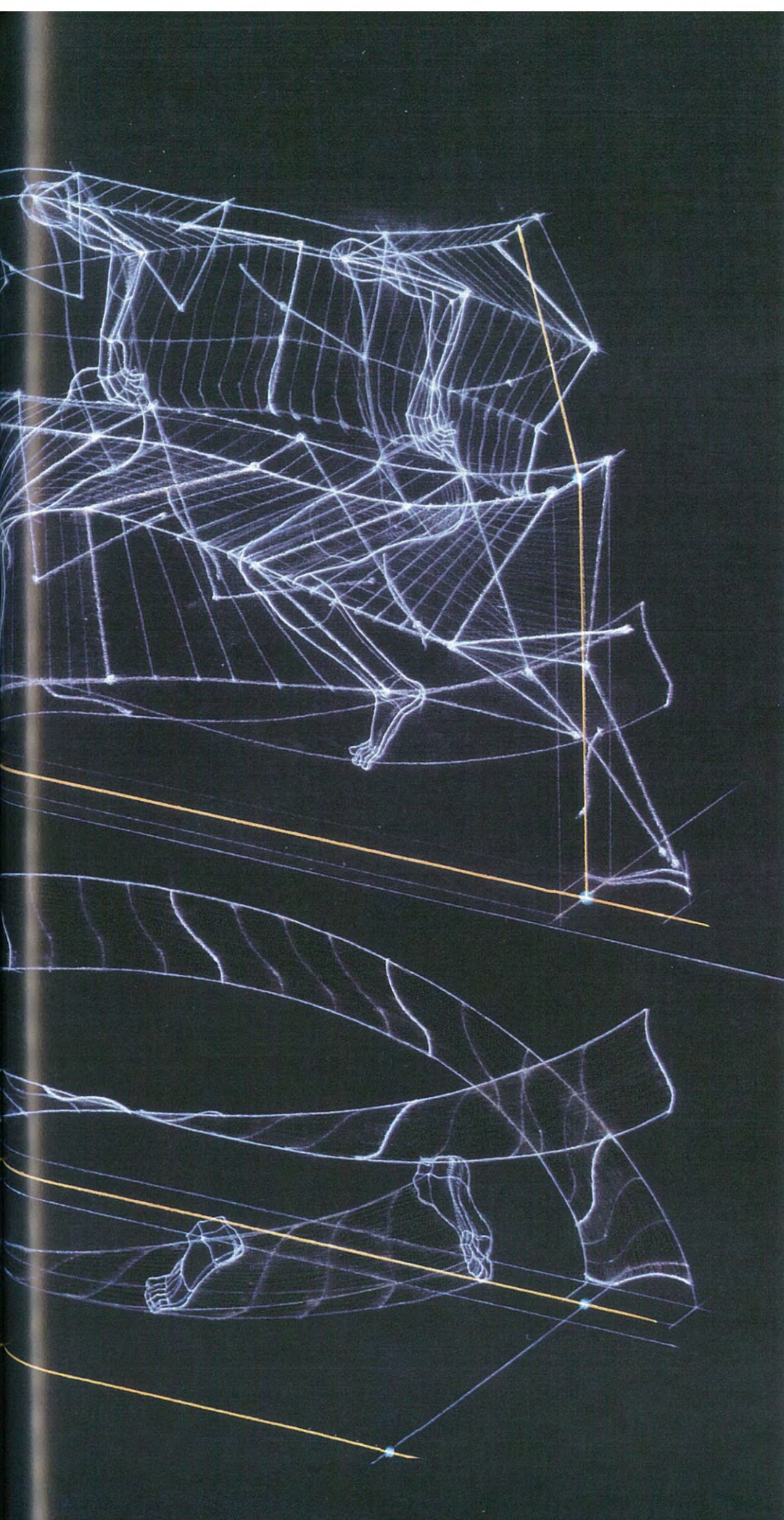
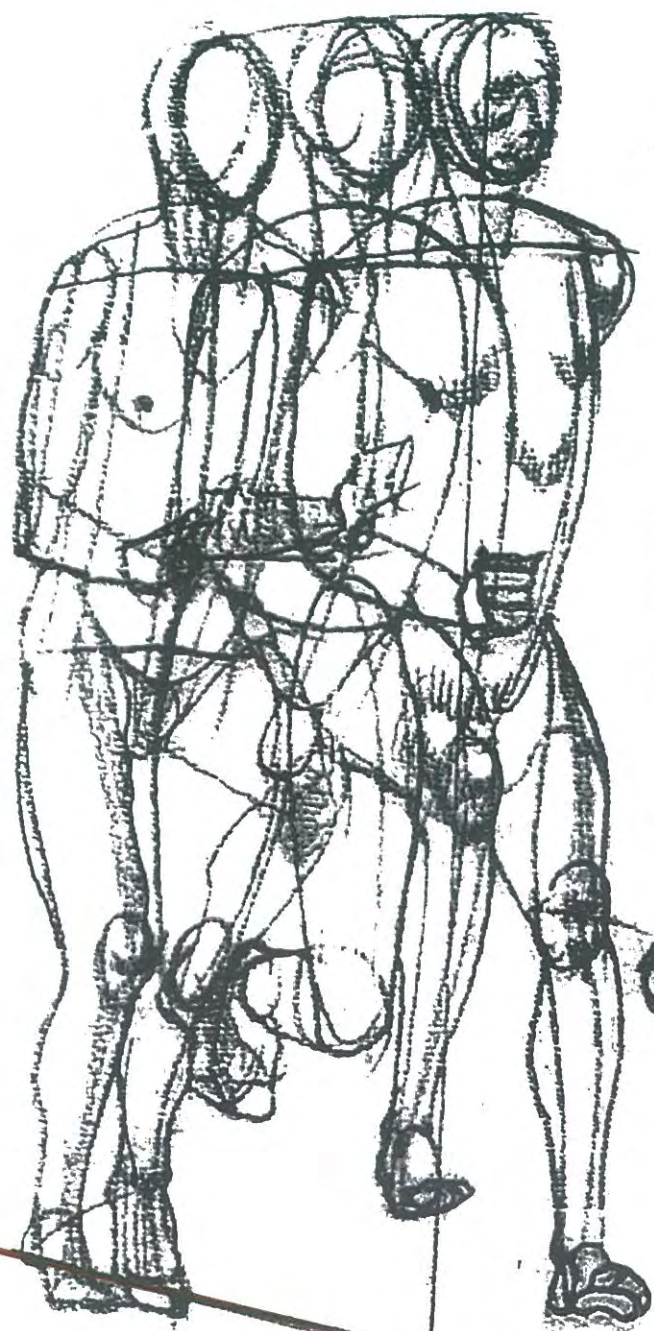
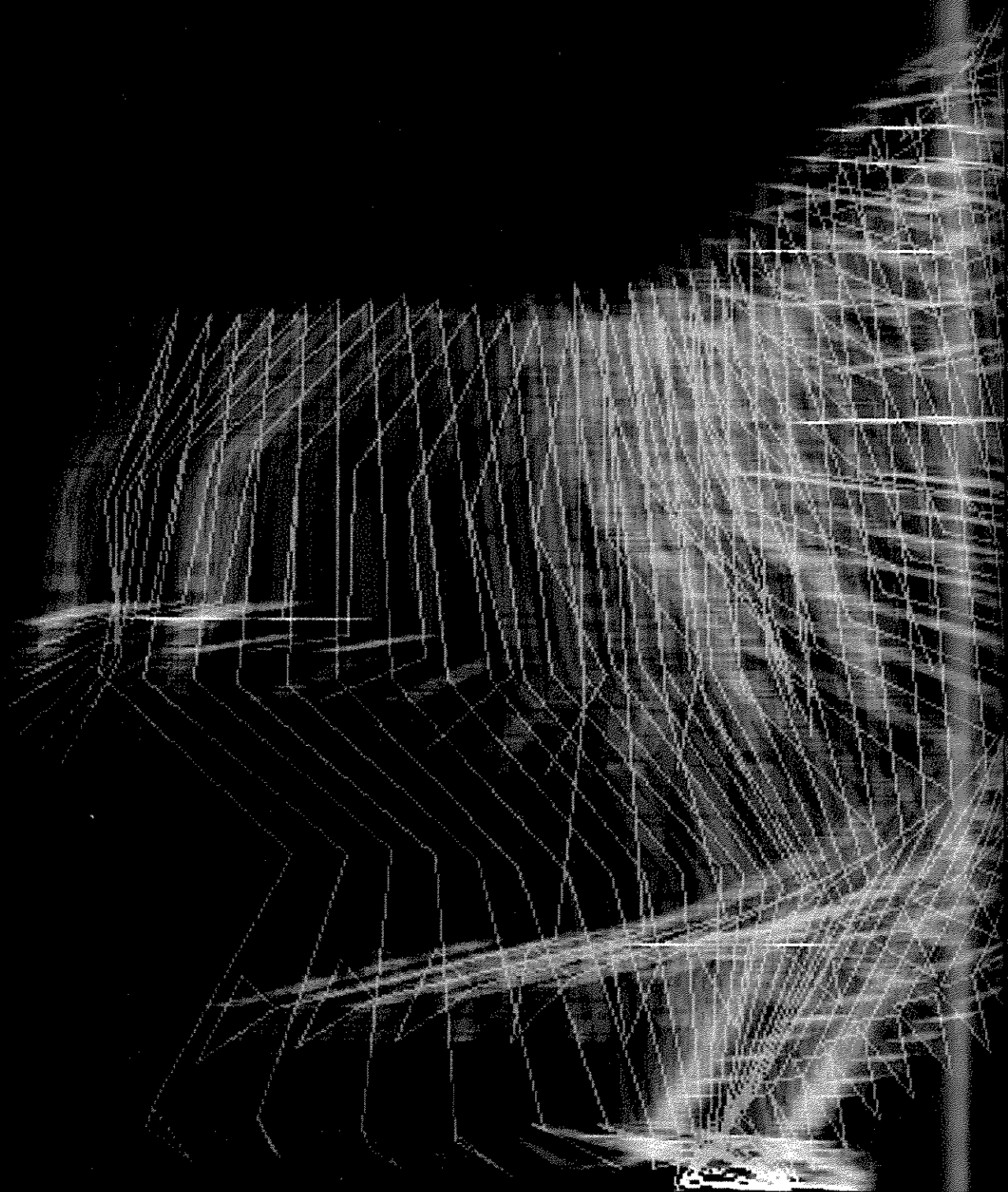
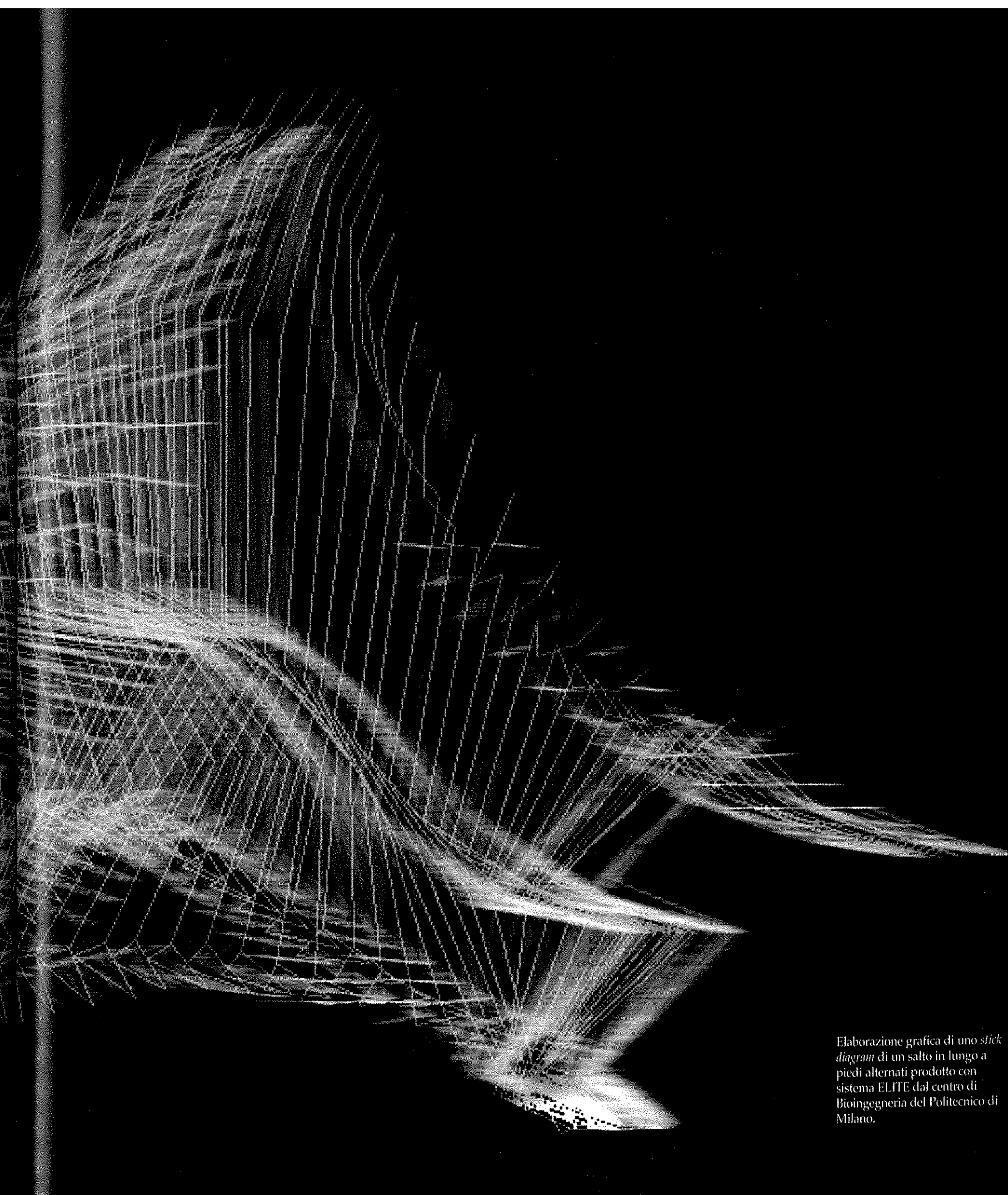
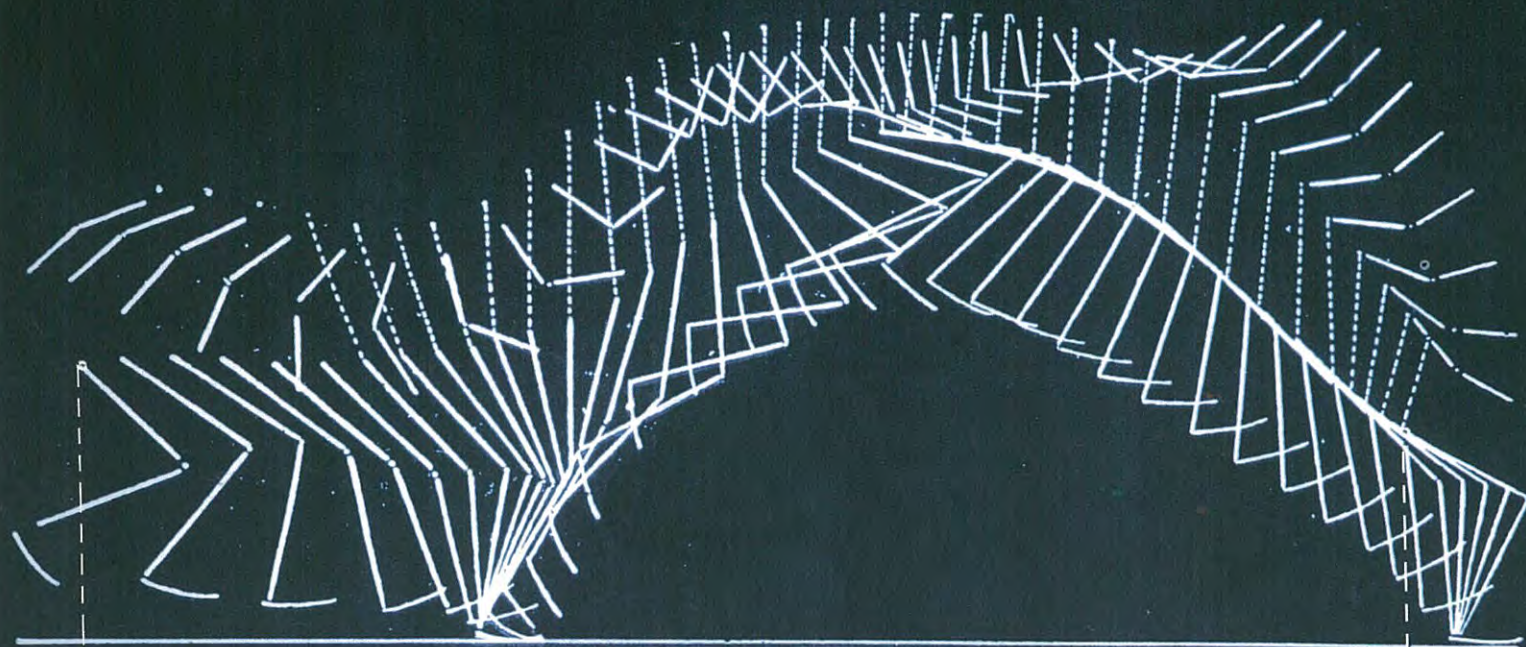
I meccanismi finora descritti si ripetono invertiti: il piede destro entra nella sua fase di assestamento e successivamente di sostegno mentre il sinistro entra nelle fasi di volo e di oscillazione.

Si tenga presente che la massima divaricazione delle gambe – misurabile dalla distanza tra i due piedi – si verifica a partire dall'allontanamento dell'arto portante nella fase di volo, e si riduce poi gradualmente fino alla conclusione della fase di ammortizzamento con l'appoggio del piede al suolo.

D. divaricazione in aumento
d. divaricazione in riduzione

Slancio dell'arto inferiore destro, dalla Fase II alla Fase VI

arto sinistro
I
V
I
V
arto destro
I
p.

L'arto superiore nella corsa presenta nel suo movimento una maggiore escursione anteriore e posteriore e una accentuata flessione e rotazione.
Nell'arto superiore il punto di massima flessione e rotazione anteriore è riscontrabile nelle Fasi I e XIII di allontanamento, mentre la sua estensione massima è raggiunta nella Fase V di fine slancio.

Visione dall'alto della sezione orizzontale delle spalle e degli arti superiori.
Massima rotazione delle spalle nelle Fasi I, VII, XIII.
p. proiezione al suolo del baricentro passante per il centro dell'anca

I
III
V
VII

Visione tridimensionale del movimento degli arti superiori.

DALLA CORSA AL SALTO

Elaborazione grafica di uno *stick diagram* di un salto in lungo a piedi alternati prodotto con sistema ELITE dal centro di Bioingegneria del Politecnico di Milano.

IL SALTO

Elaborazione da J.E. Marey

Elaborazione da E. Muybridge

Fig. A
Diagramma dei movimenti dei segmenti scheletrici dell'arto inferiore e superiore destro nel salto.

Fig. B
Comportamento dei principali muscoli antagonisti della coscia nella fase di stacco.
r. retto del femore
b. bicipite femorale
Fase I, di ammortizzamento dell'arto inferiore destro: il retto femorale si distende gradualmente controllando il movimento di flessione del ginocchio, mentre il bicipite in contrazione mantiene eretto il bacino.
Fase II, di allontanamento: il retto femorale si contrae portando in estensione il ginocchio, mentre il bicipite si distende assecondando il movimento di estensione dell'arto inferiore.
d. arto destro
s. arto sinistro

Il salto è una sequenza di movimenti i quali, grazie all'azione muscolare, permettono al corpo umano di staccarsi dal suolo e di ricadervi dopo aver compiuto una traiettoria nell'aria.
Le tipologie del salto sono diverse: da fermo o con rincorsa, a piedi alternati o a piedi pari, in alto o in lungo, quando prevalga rispettivamente la componente di spinta verticale o di spinta orizzontale.
Nel salto si possono distinguere quattro movimenti distribuiti in cinque fasi: preparazione, stacco, volo, atterraggio (Tav. I, Fig. A).
La tipologia di salto che meglio si presta all'analisi dei diversi movimenti e fasi è il salto in lungo a piedi alterni con rincorsa.

Preparazione
È il movimento della rincorsa fino all'appoggio del piede nel punto di stacco. La rincorsa permette al corpo di acquisire la velocità utile al salto.
La lunghezza dei passi della rincorsa non è uniforme: poco prima dell'appoggio del piede che stacca, essa si accorcia per ridurre e controllare la velocità orizzontale e per assicurare al corpo il migliore assetto nel momento dell'appoggio al suolo del piede che stacca.

Stacco (Tav. I, Fig. B)
Avviene in due tempi: l'ammortizzamento (Fase I), che va dalla fine dell'appoggio del piede all'inizio del movimento di allontanamento dell'arto inferiore; l'allontanamento (Fase II), che termina con lo stacco del piede dal suolo.
Quando il piede batte nel punto dello stacco, l'arto inferiore di appoggio ammortizza la spinta ricevuta dalla rincorsa mediante una flessione. All'accorciarsi dell'arto inferiore causato dal movimento di flessione all'anca e al ginocchio e della conseguente flessione dorsale del piede, corrisponde l'allungarsi e il tendersi dell'apparato muscolare antagonista (estensori dell'anca e del ginocchio) (Tav. I, Fig. B).
Nella fase successiva di allontanamento, invece (Fase II) l'arto inferiore raggiunge la sua massima estensione con il raddrizzamento della gamba di spinta e la flessione plantare del piede (Fig. B).
Possiamo notare che mentre nella Fase I la posizione del baricentro è ancora posteriore alla gamba di appoggio, nella Fase II il baricentro del corpo si porta progressivamente in avanti grazie all'avanzamento del tronco. È in questa fase che si creano le condizioni che determineranno l'angolo di volo del corpo, poiché l'andamento del baricentro da orizzontale diviene verticale.
L'equilibrio del corpo in questa fase è condizionato dalla spinta verso l'alto e successivamente dalla perdita dell'appoggio.
Nello stacco i movimenti di oscillazione verso l'avanti-alto degli arti superiori determinano l'andamento e l'orientamento del salto alleggerendo il tronco e direzionando lo spostamento del baricentro nel verso del salto.

Volo (Tav. II, Fig. A)
Si sviluppa dalla Fase III alla VII. Nella Fase III la traiettoria compiuta dal baricentro è determinata dalla grandezza e dalla direzione della velocità iniziale, ossia dall'angolo di volo. Perché la traiettoria sia ottimale, è necessario che il piede sia portato alla massima altezza consentita; mentre per preparare la ripresa del contatto con il suolo, gli arti inferiori avanzano anteriormente al tronco e sono raccolti in flessione.

Atterraggio
Nella Fase VIII il corpo riprende contatto con il suolo. Per ammortizzare l'impatto, gli arti inferiori si flettono permettendo al baricentro di abbassarsi e di ristabilire l'equilibrio del corpo. Mentre nel salto in lungo il recupero dell'equilibrio dopo l'impatto al suolo è più complesso e comporta uno spostamento in avanti del tronco e l'esecuzione di uno o più piccoli passi che rallentano e diluiscono nel tempo l'impatto stesso (Tav. II, Fig. A), nel caso del salto in alto al momento dell'impatto con il suolo la proiezione della linea di gravità del baricentro viene a trovarsi, in genere, nella base di appoggio dei piedi.

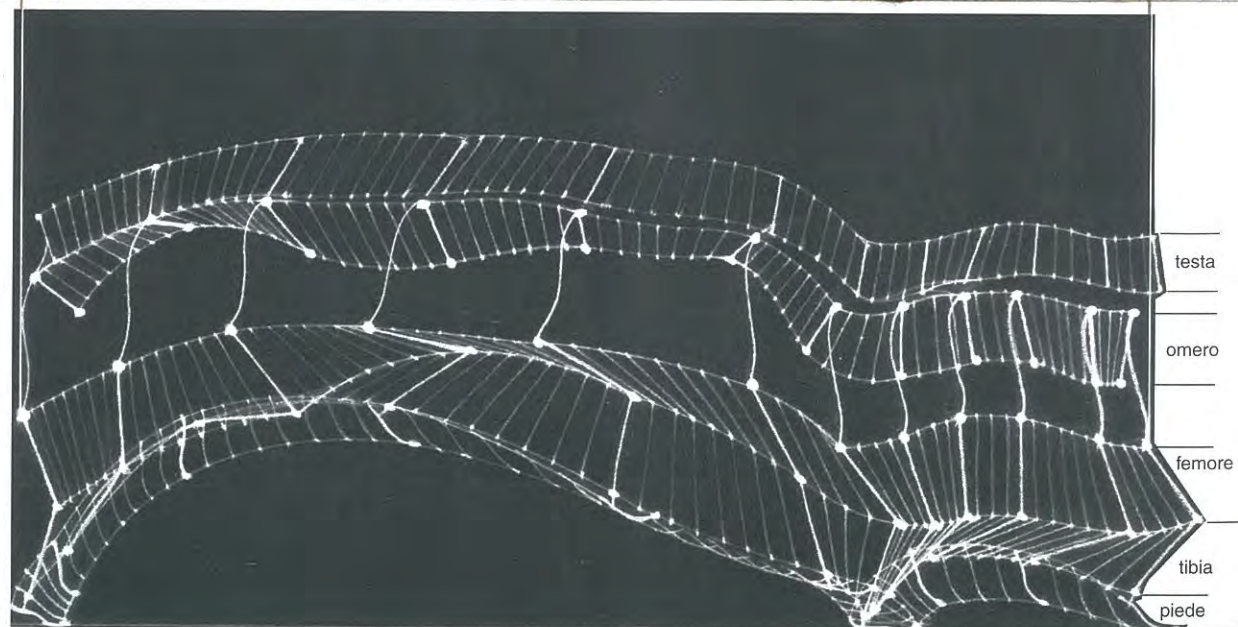
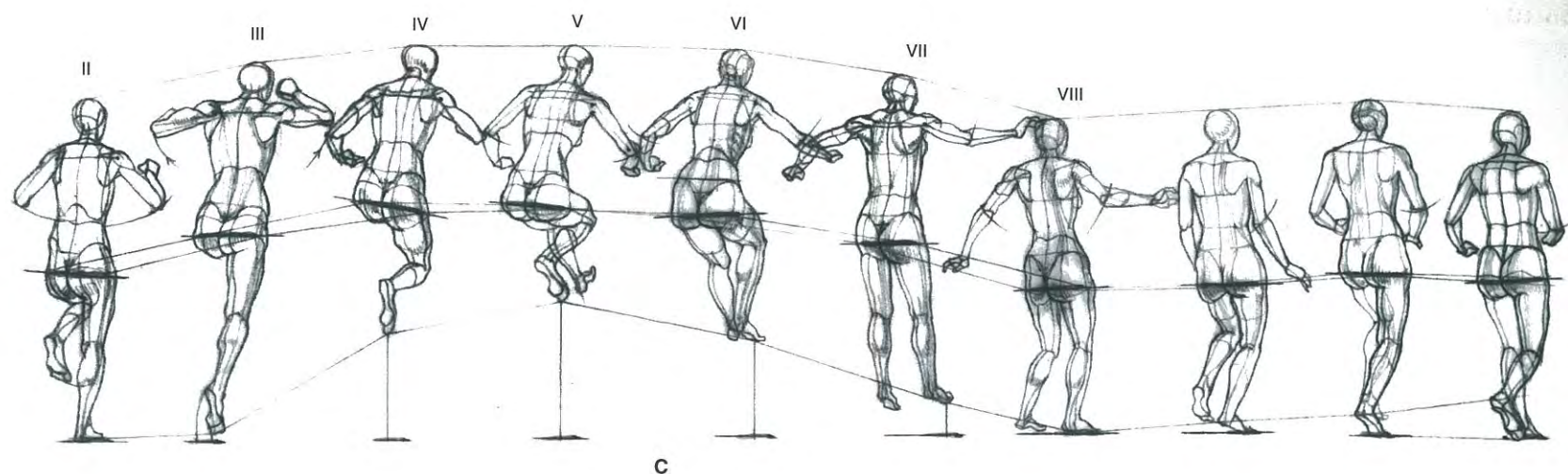
I II III IV V VI VII VIII

A

PREPARAZIONE STACCO VOLO ATTERRAGGIO

B

Fig. A
Analisi del movimento degli arti superiori e inferiori e del comportamento del tronco e della testa nelle fasi del salto.
Nel disegno i punti indicano i centri articolari di spalla, gomito, anca, ginocchio e caviglia, e il centro della testa.

Fig. B
Comportamento isolato dell'arto inferiore destro e suoi tracciati di traslazione nei periodi di stacco, volo e atterraggio.
Le linee di traslazione segnalano i punti corrispondenti: margine superiore della cresta iliaca del bacino; centro articolare dell'anca, ginocchio, caviglia e margine plantare del piede.

g.t.
c.f.
t.f.
g.t.
g.
c.
t.f.
g.t.
c.f.
g.
c.

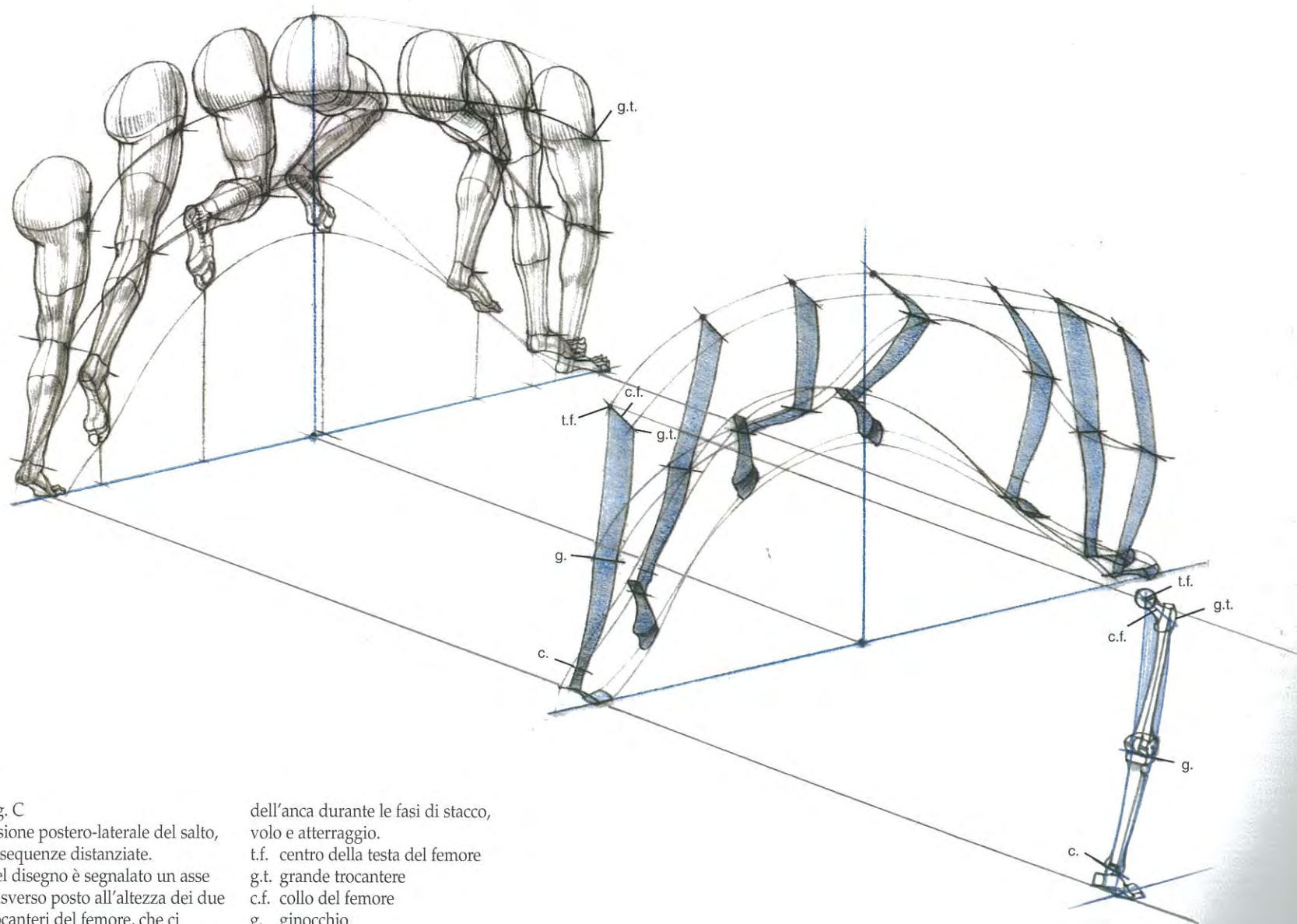



Fig. C
Visione postero-laterale del salto, in sequenze distanziate.
Nel disegno è segnalato un asse trasverso posto all'altezza dei due trocanteri del femore, che ci permette di individuare l'assetto dell'anca durante le fasi di stacco, volo e atterraggio.
t.f. centro della testa del femore
g.t. grande trocantere
c.f. collo del femore
g. ginocchio
c. caviglia

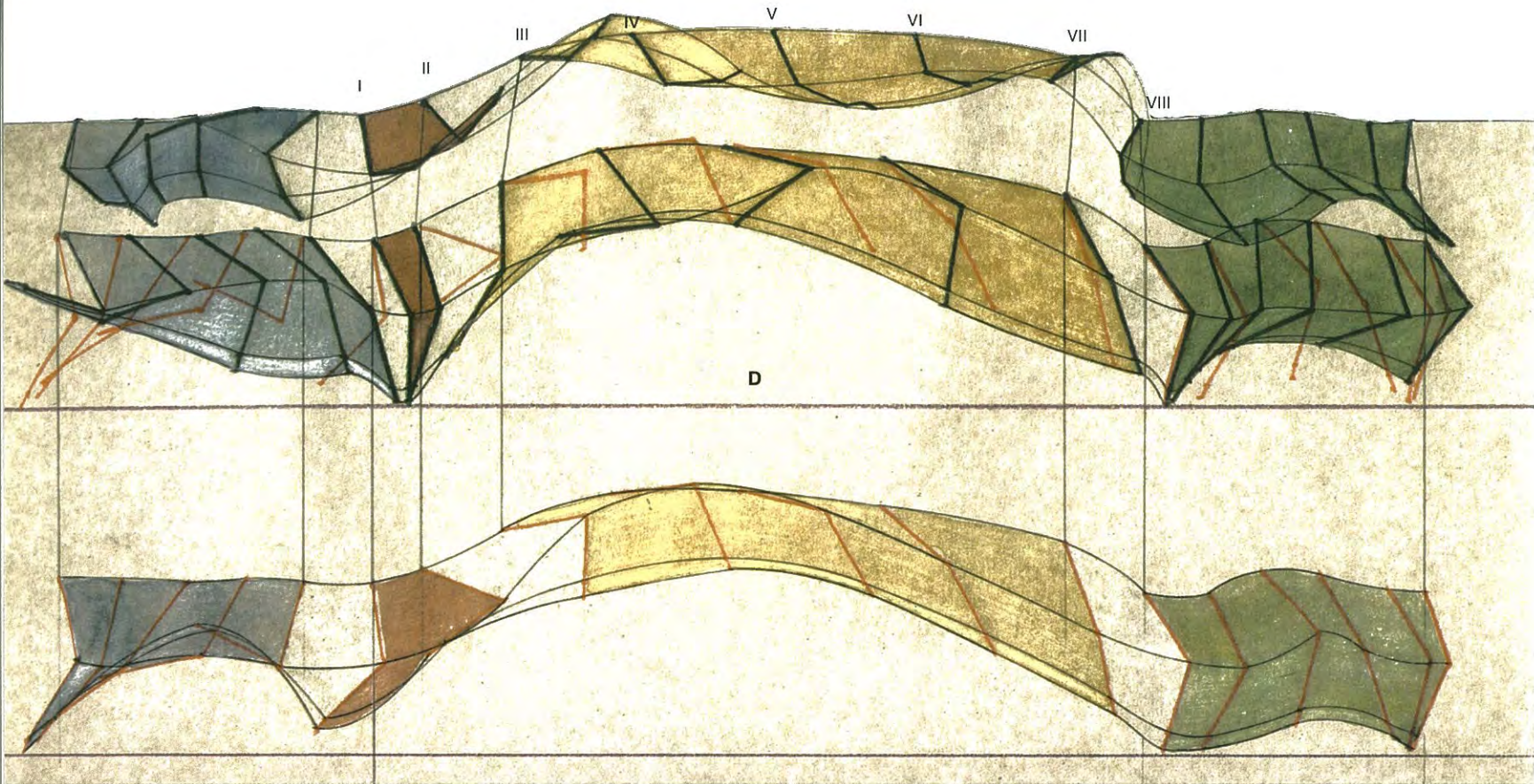



Fig. D
Diagramma di profilo e dall'alto del movimento e dei tracciati di traslazione degli arti nel salto. È indicato in nero il comportamento di flessione dei segmenti scheletrici dell'arto superiore e inferiore destro, mentre in rosso è indicato il movimento dei segmenti scheletrici dell'arto inferiore sinistro.

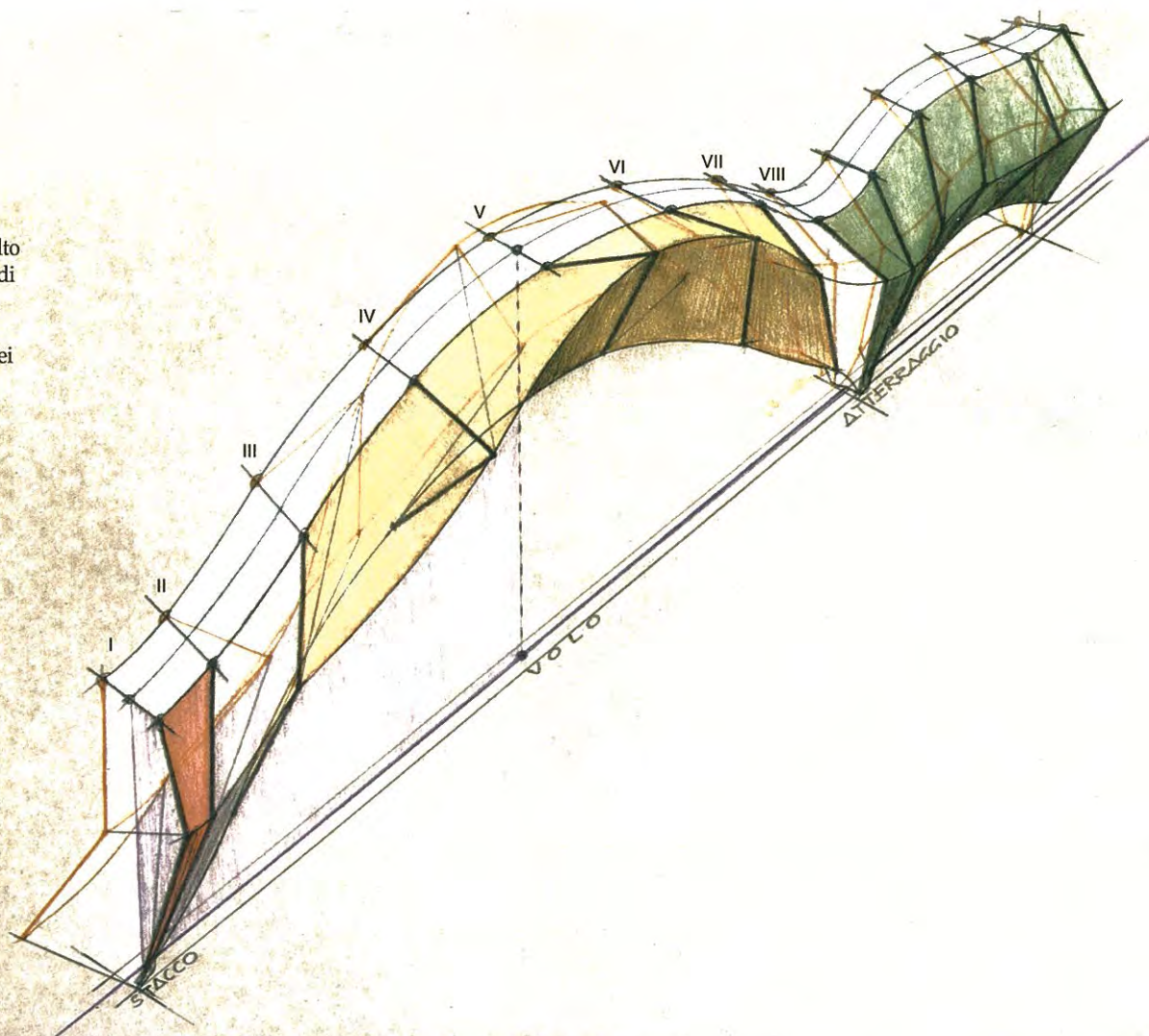
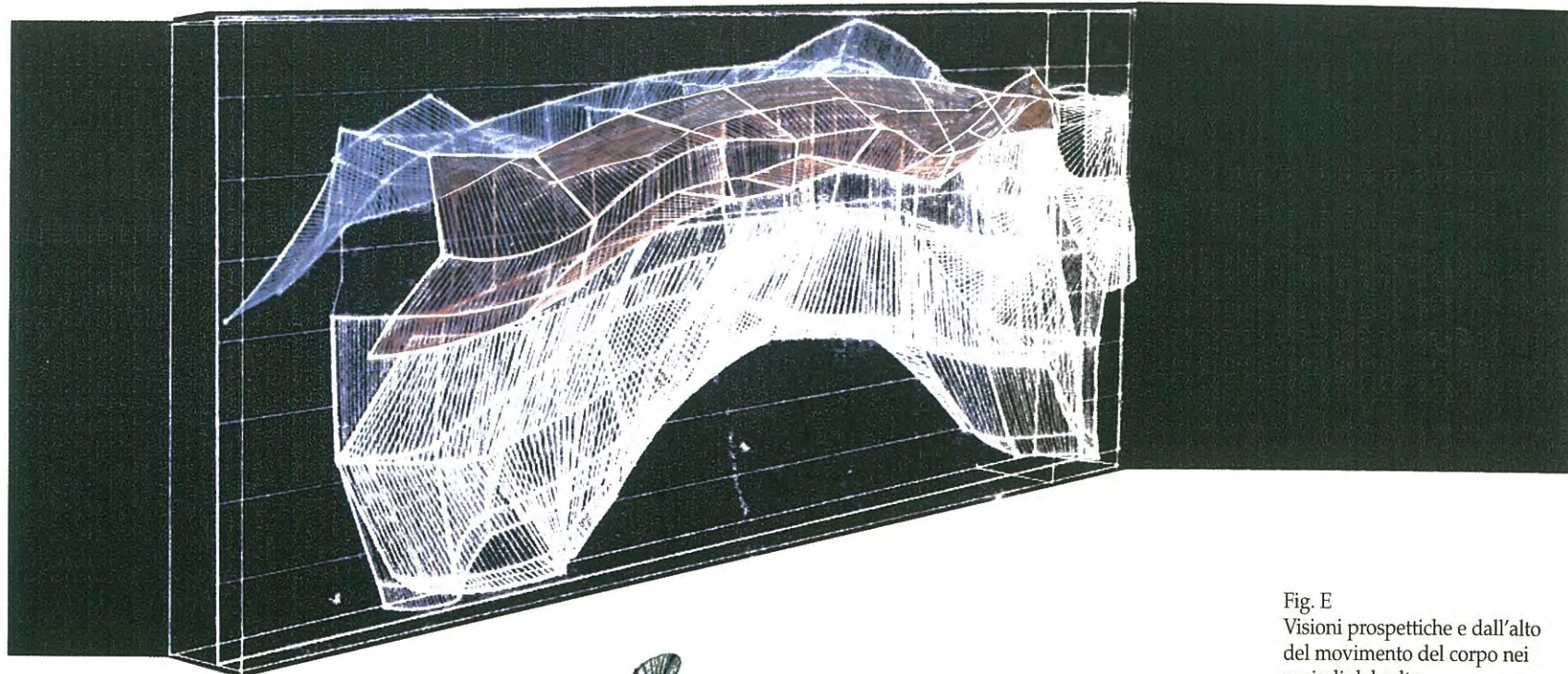



Fig. E
Visioni prospettiche e dall'alto del movimento del corpo nei periodi del salto.
Sono evidenziati in rosso i tracciati di movimento dell'arto superiore sinistro nel periodo di stacco, volo e atterraggio, in blu quelli dell'arto superiore sinistro.

J. E. Marey, *Cronofotografia di un salto. Determinazione della traiettoria del baricentro sotto forma di parabola*, 1885. Collezione Musée Marey, Beaune, Francia.

Fig. A
Le dodici fasi della sequenza dei movimenti del corpo nel salto in altezza.

Salto frontale in altezza a piedi alternati con superamento di un ostacolo

In questo particolare tipo di salto (Figg. A, C) prevale una componente di spinta in altezza agevolata anche dal comportamento degli arti superiori. Essi, nella fase del volo, generando uno spostamento anteriore e verso l'alto del baricentro del corpo, imprimono al tronco una spinta che lo aiuta a innalzarsi e ad avanzare.
Superato l'ostacolo e iniziata la fase discendente, gli arti superiori si aprono (allargamento delle braccia) in modo da sviluppare un'azione frenante utile a ristabilire l'equilibrio del corpo prima e durante l'impatto con il terreno. Quanto agli arti inferiori, le Figg. A e B mostrano come l'arto portante, a partire dalla massima estensione raggiunta nella fase finale dello stacco, si fletta gradualmente fino al superamento dell'ostacolo per ridistendersi poi prima della presa di contatto con il suolo.

Fig. C
Le dodici fasi ricomposte nel corretto dimensionamento del salto.

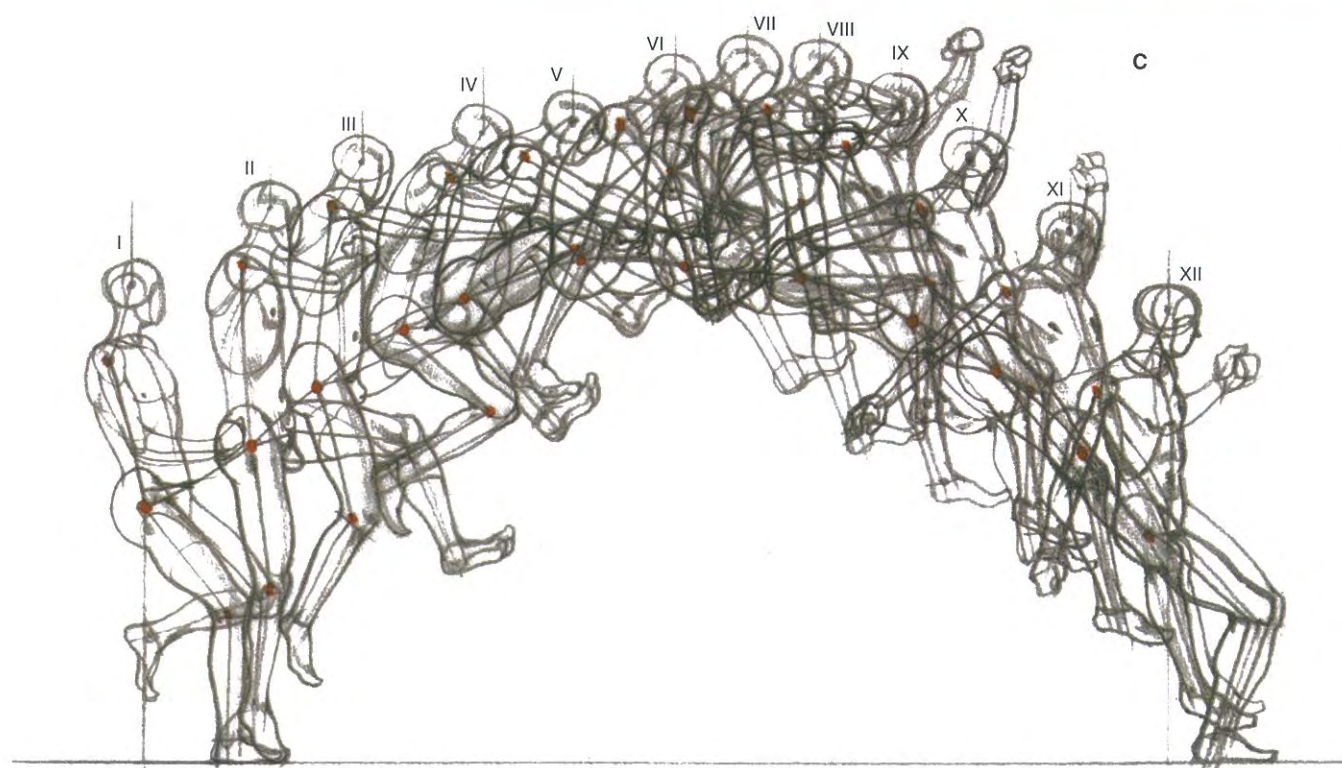



Fig. B
Diagramma dei movimenti dell'arto destro analizzati dalla fase di massima altezza del volo all'atterraggio al suolo.
Si noti come la Fase XII, di contatto con il suolo, sia caratterizzata da un'accentuata flessione ammortizzante degli arti inferiori, e come al momento del contatto a terra il tronco dovrà poi avanzare per riportare la linea di proiezione del baricentro all'interno della base di appoggio dei piedi, per ristabilire una condizione di equilibrio del corpo.

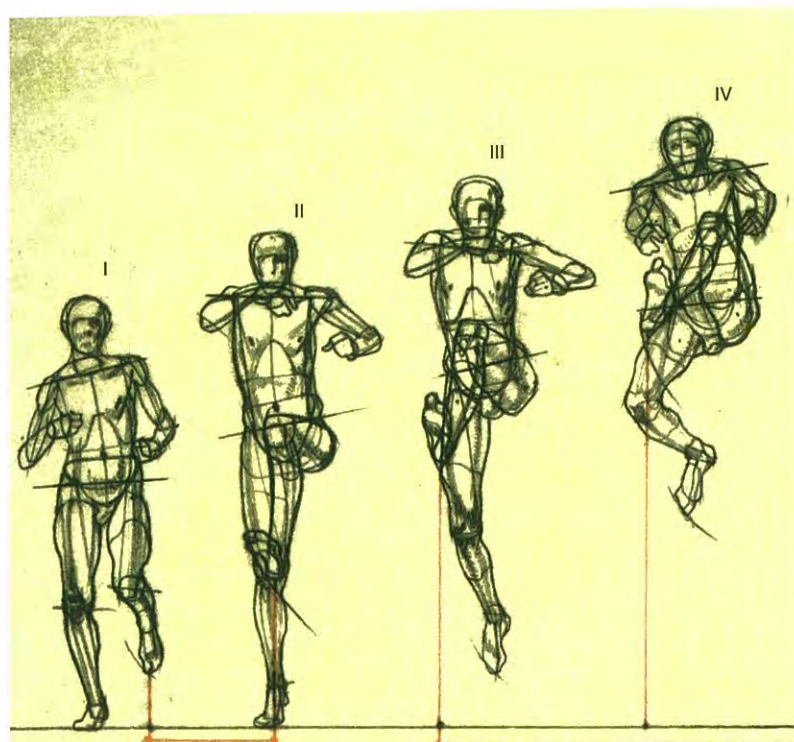
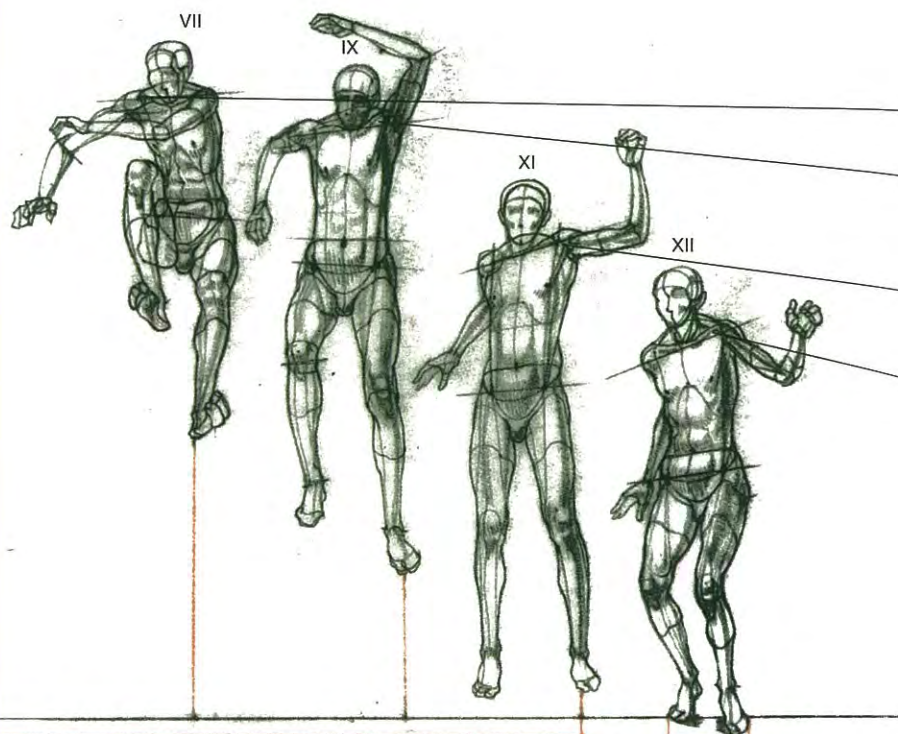
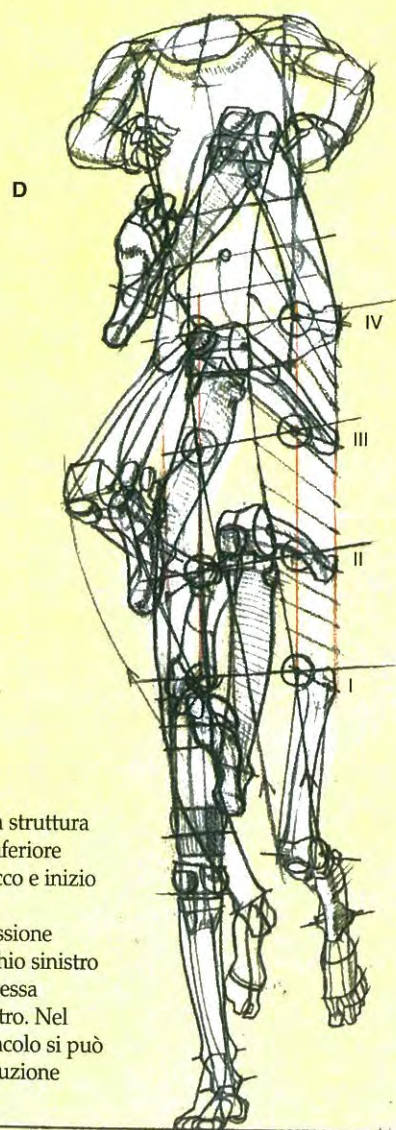
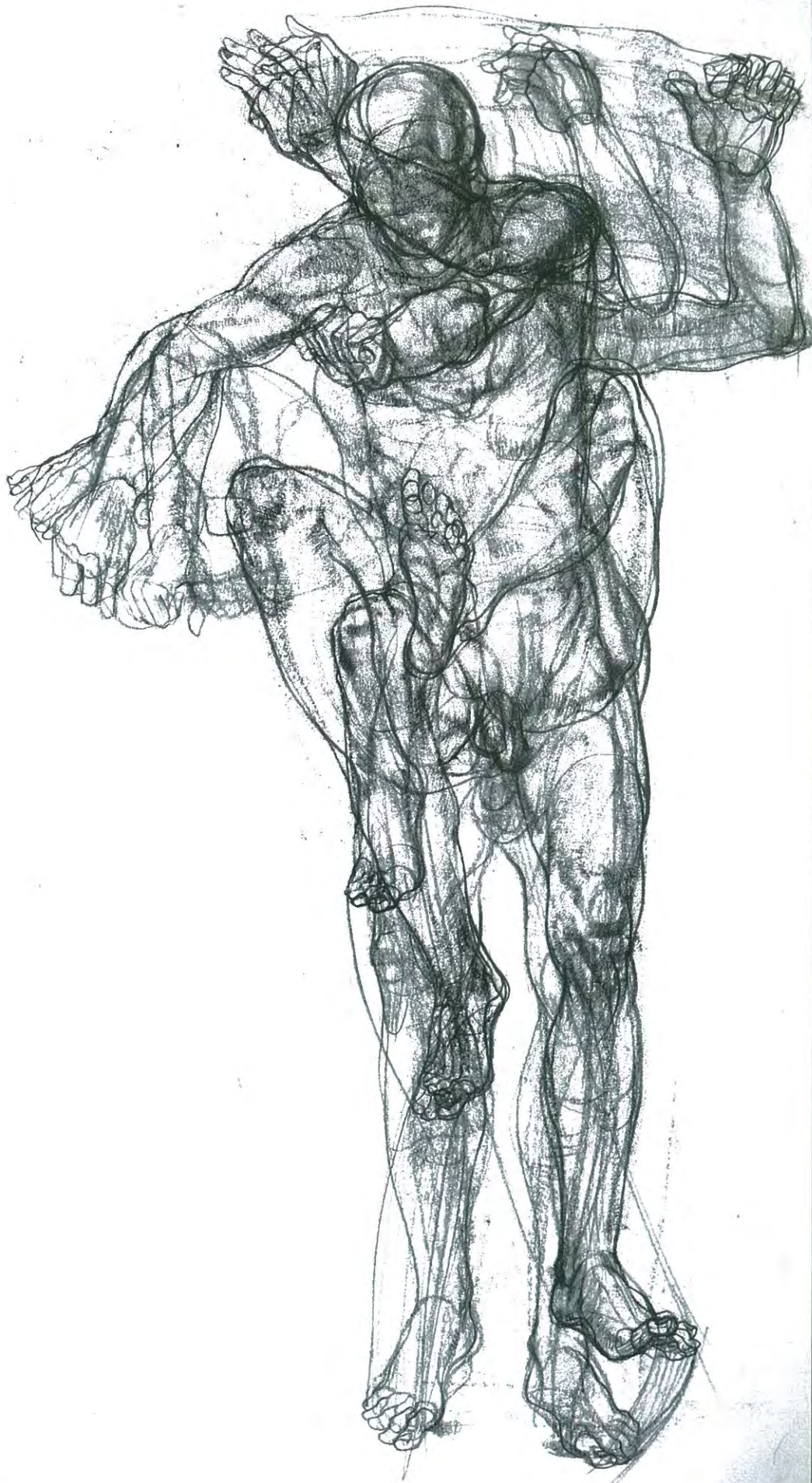
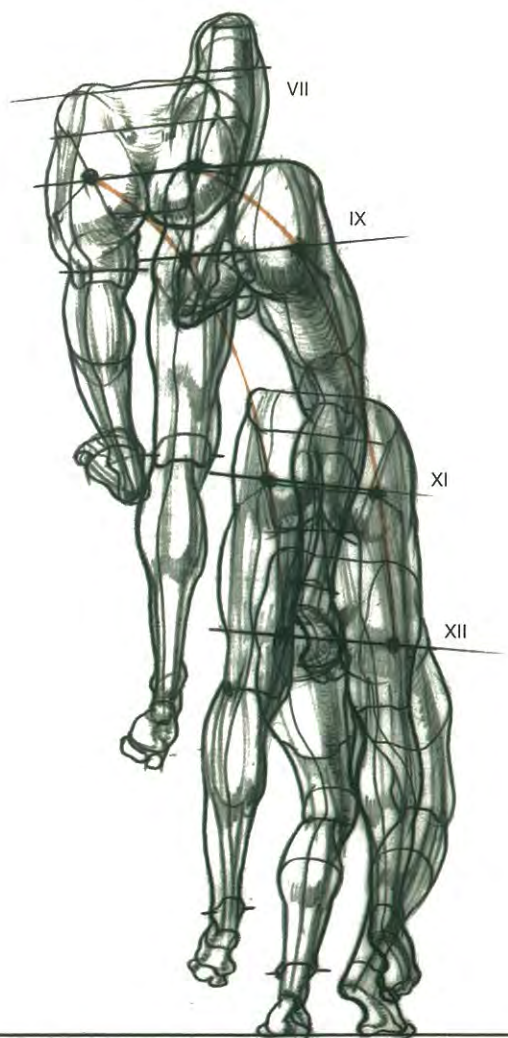
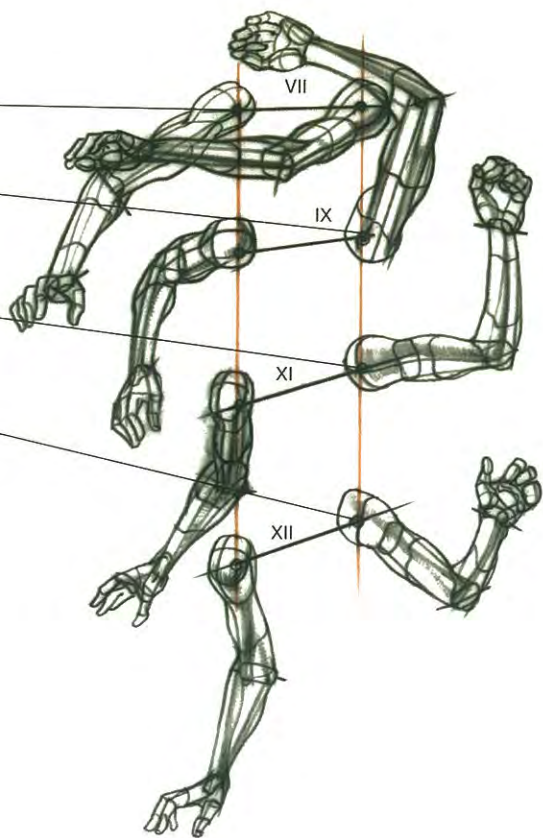
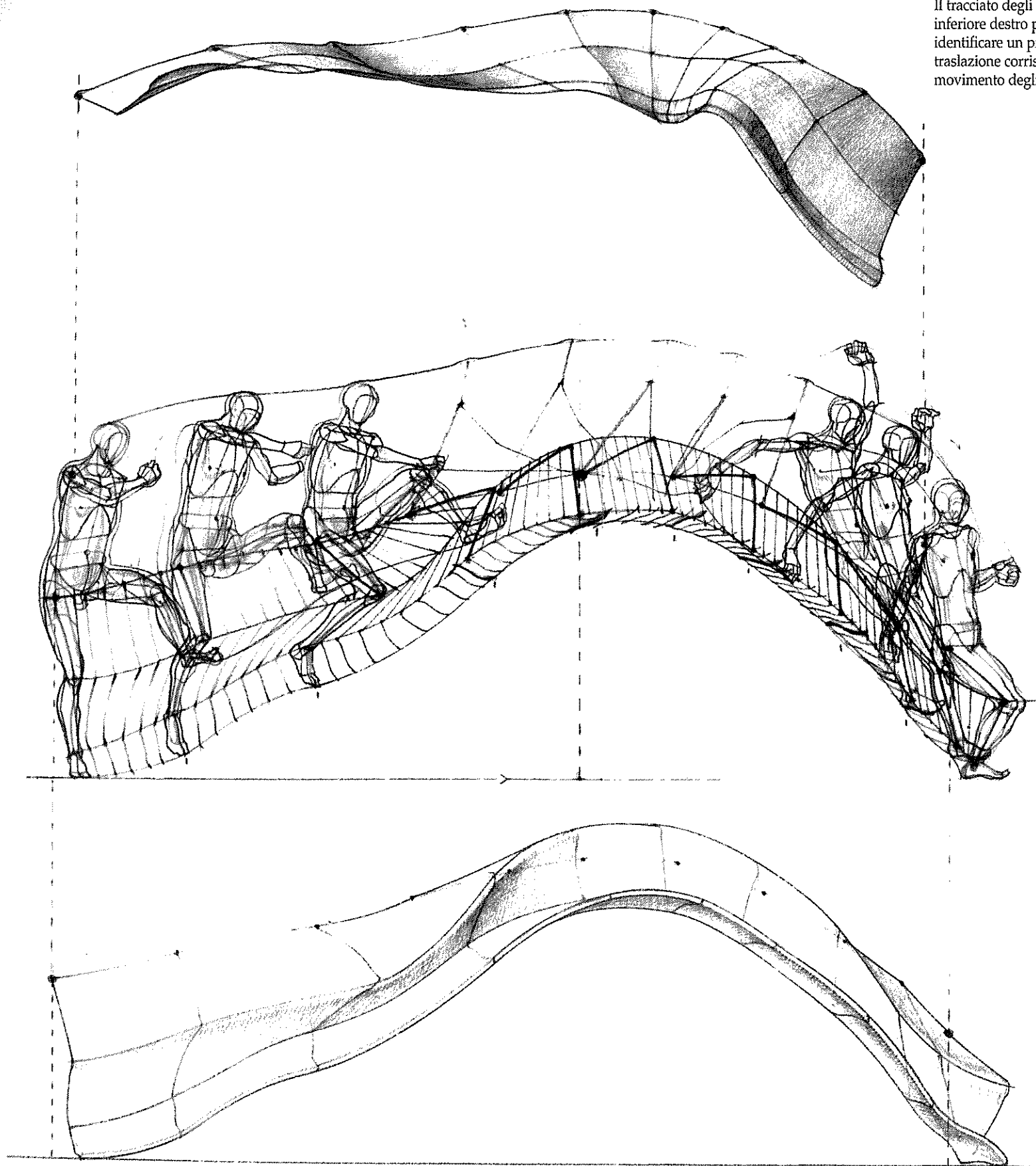
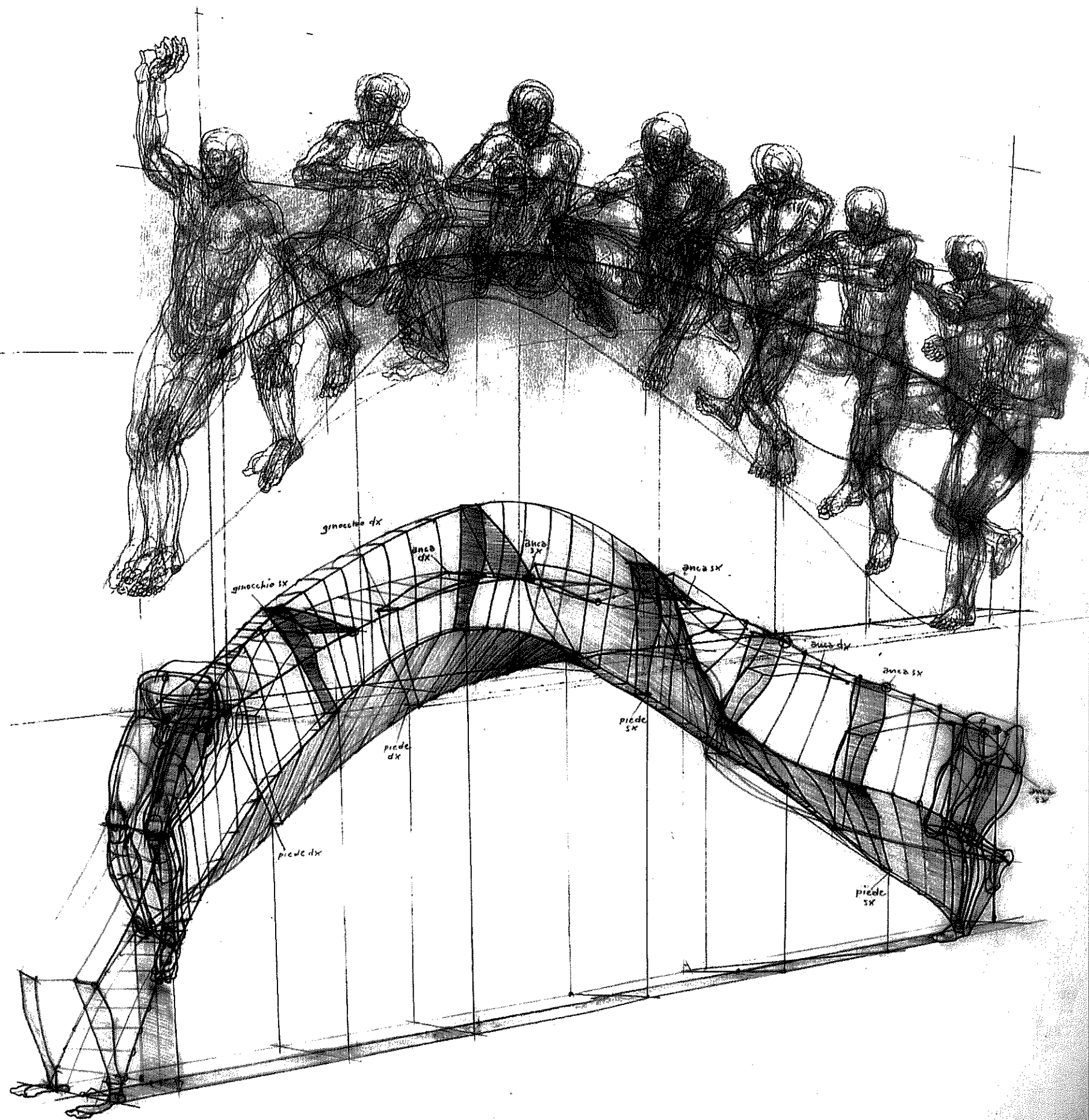
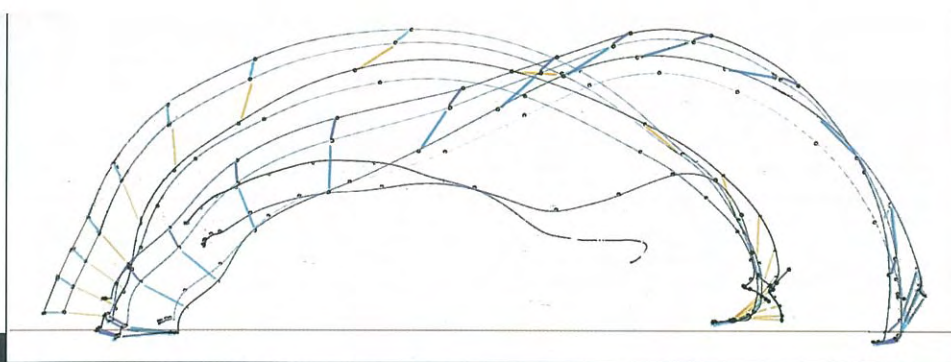



Fig. D
I comportamenti della struttura scheletrica dell'arto inferiore nelle Fasi I e II, di stacco e inizio del volo.
Si noti la graduale flessione dell'anca e del ginocchio sinistro e, dopo lo stacco, la stessa flessione dell'arto destro. Nel superamento dell'ostacolo si può osservare anche l'abduzione della coscia destra.

La massima flessione delle anche sul tronco si verifica al momento del superamento dell'ostacolo.

VII
IX
XI
XII
VII
IX
XI
XII

Il tracciato degli arti superiore e inferiore destro permette di identificare un piano di traslazione corrispondente al movimento degli arti.

Le sequenze dello stacco e del volo sono state opportunamente distanziate perché si possa distinguere il comportamento degli arti.

ginocchio dx
anca dx
anca sx
anca sx
ginocchio sx
anca dx
anca sx
piede sx
piede dx
piede dx
piede sx

C

Rilevamento fotografico del movimento degli arti inferiori in alcune tipologie di salto: punti e segmenti indicano la posizione di ginocchia, caviglie, margine laterale del piede sinistro (in rosso) e margine mediale del piede destro (in blu).

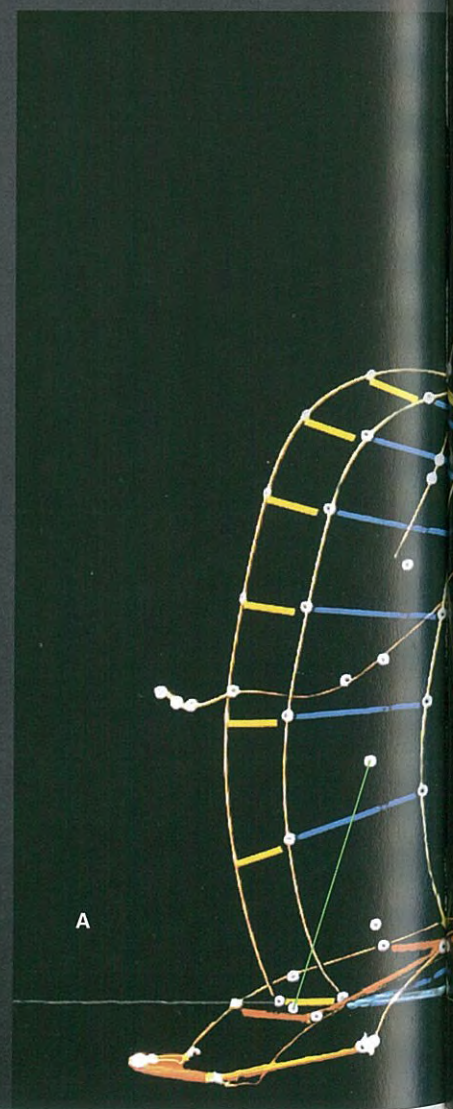
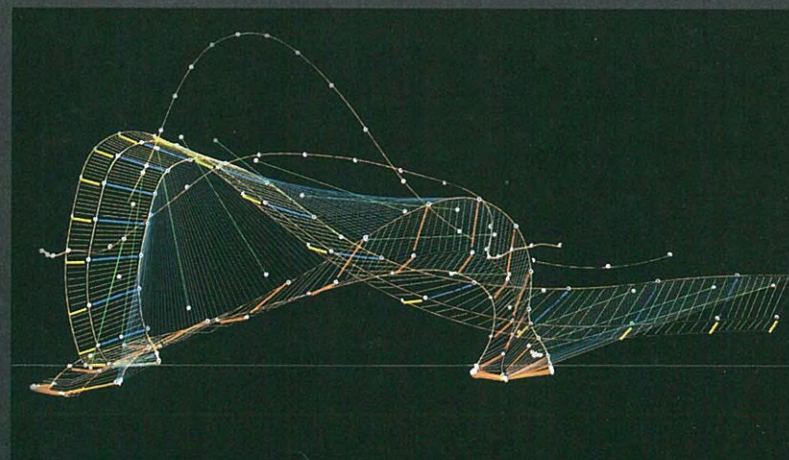
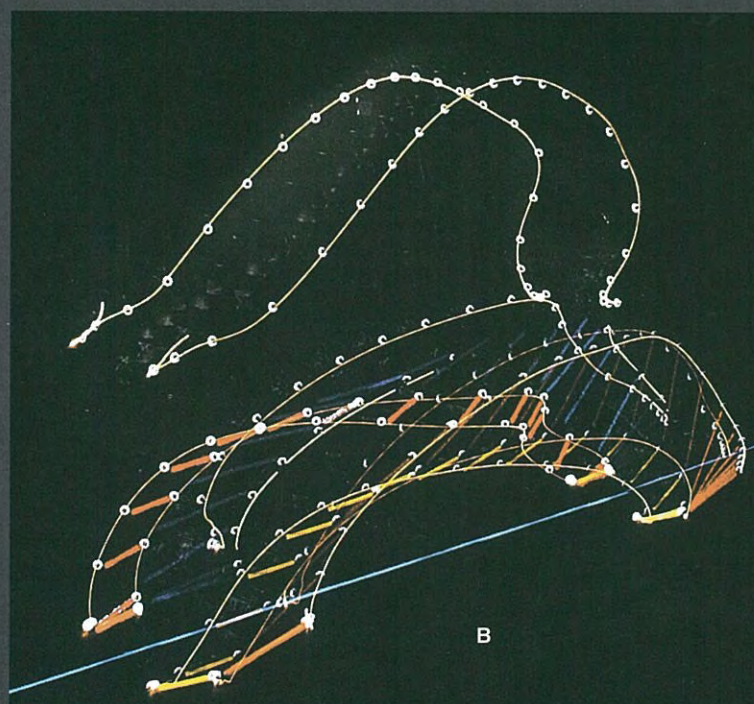
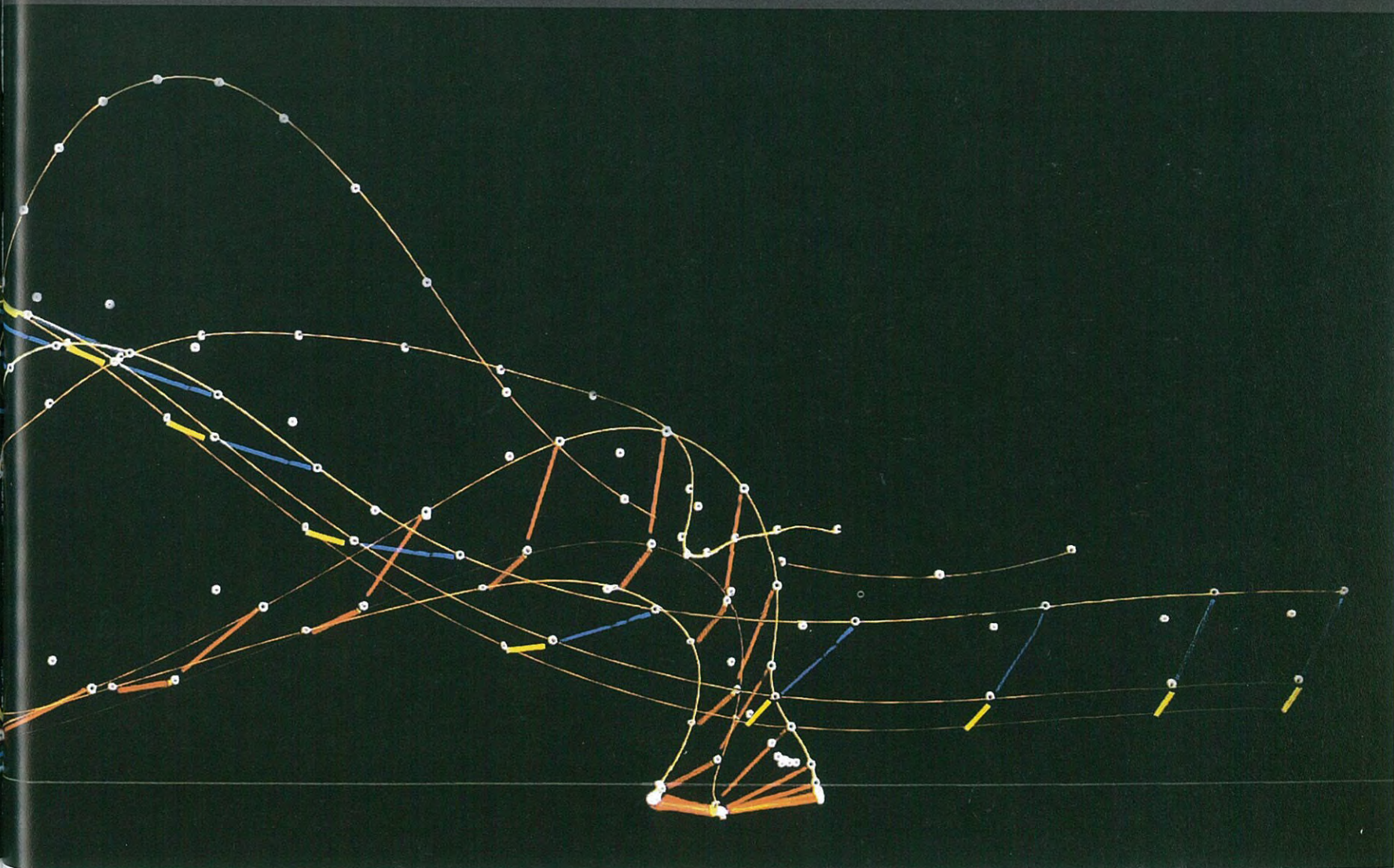
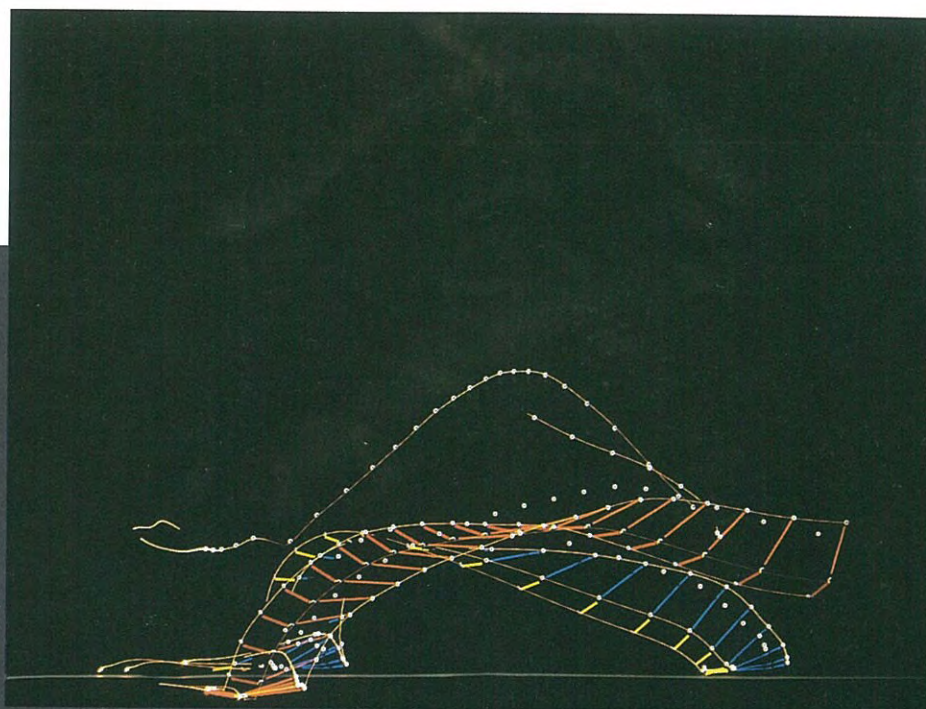
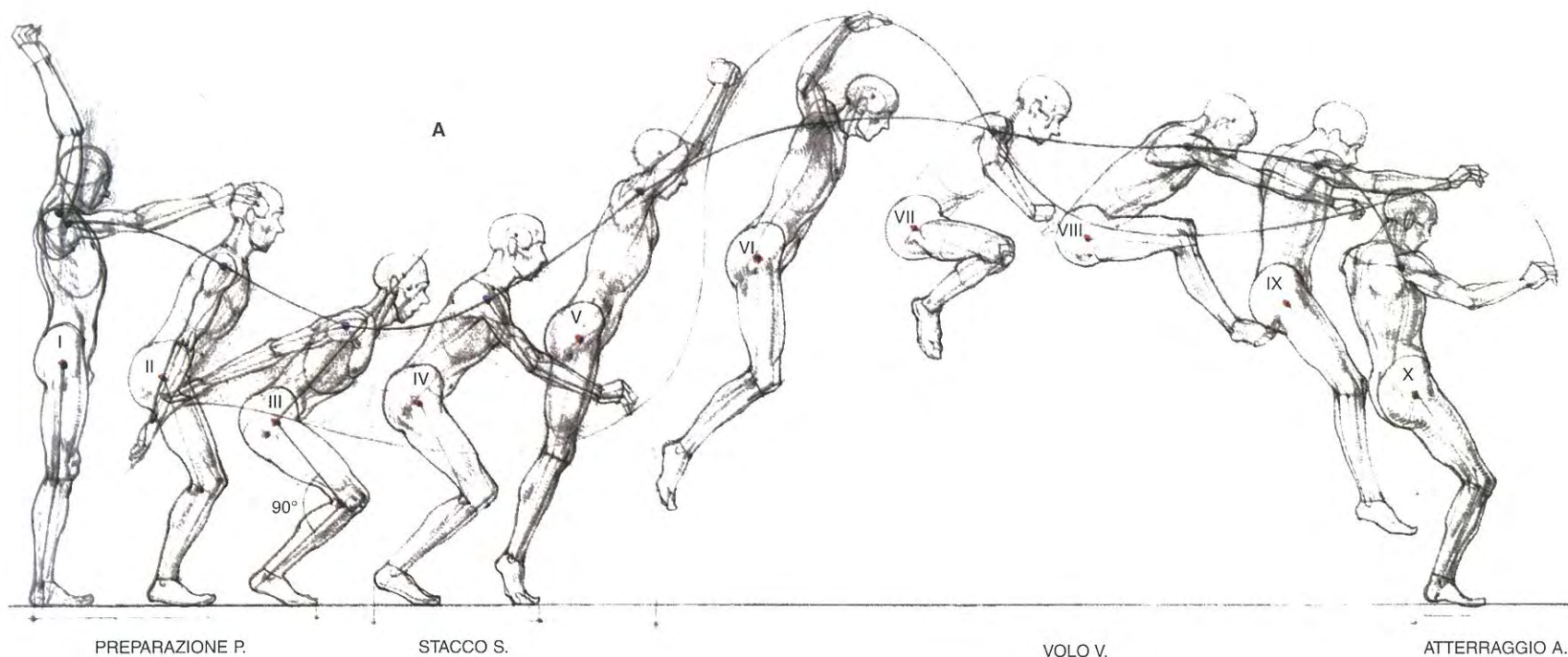
Ricerca e fotografie a cura di Simone Falso.

Fig. A
Salto in lungo a piedi alternati.

Fig. B
Visione antero-laterale di un salto a piedi pari.

Fig. C
Capovolta.

B

A

Salto in alto da fermo a piedi appaiati

Nel salto con partenza da fermo viene a mancare la fase di preparazione o di rincorsa, e la spinta propulsiva necessaria al periodo di volo è data soltanto da un movimento energico di flessione-estensione degli arti inferiori (in corrispondenza di anca, ginocchio, piede) i quali, a piedi uniti, imprimono la spinta in alto e in avanti (Fasi II, III, IV, V). In sincronia con questa azione, gli arti superiori contribuiscono all'innalzamento del tronco con un ampio movimento prima verso l'alto (Fase I), poi verso il basso e all'indietro (Fase III) e infine di nuovo in alto (Fase V). Gli arti superiori, inoltre, nella fase del volo sollevano ulteriormente il tronco, guidano la direzione del salto e servono a mantenere il corpo in equilibrio nel momento dell'atterraggio.

Fig. A
Sequenze separate dei movimenti del salto.
Nella Fase III, di preparazione, il ginocchio è flesso di circa 90°.

Fig. B
Comportamento dell'arto inferiore nelle fasi di:
preparazione (I, II, III),
stacco (IV, V),
volo (VI, VII,VIII, IX),
atterraggio (X).

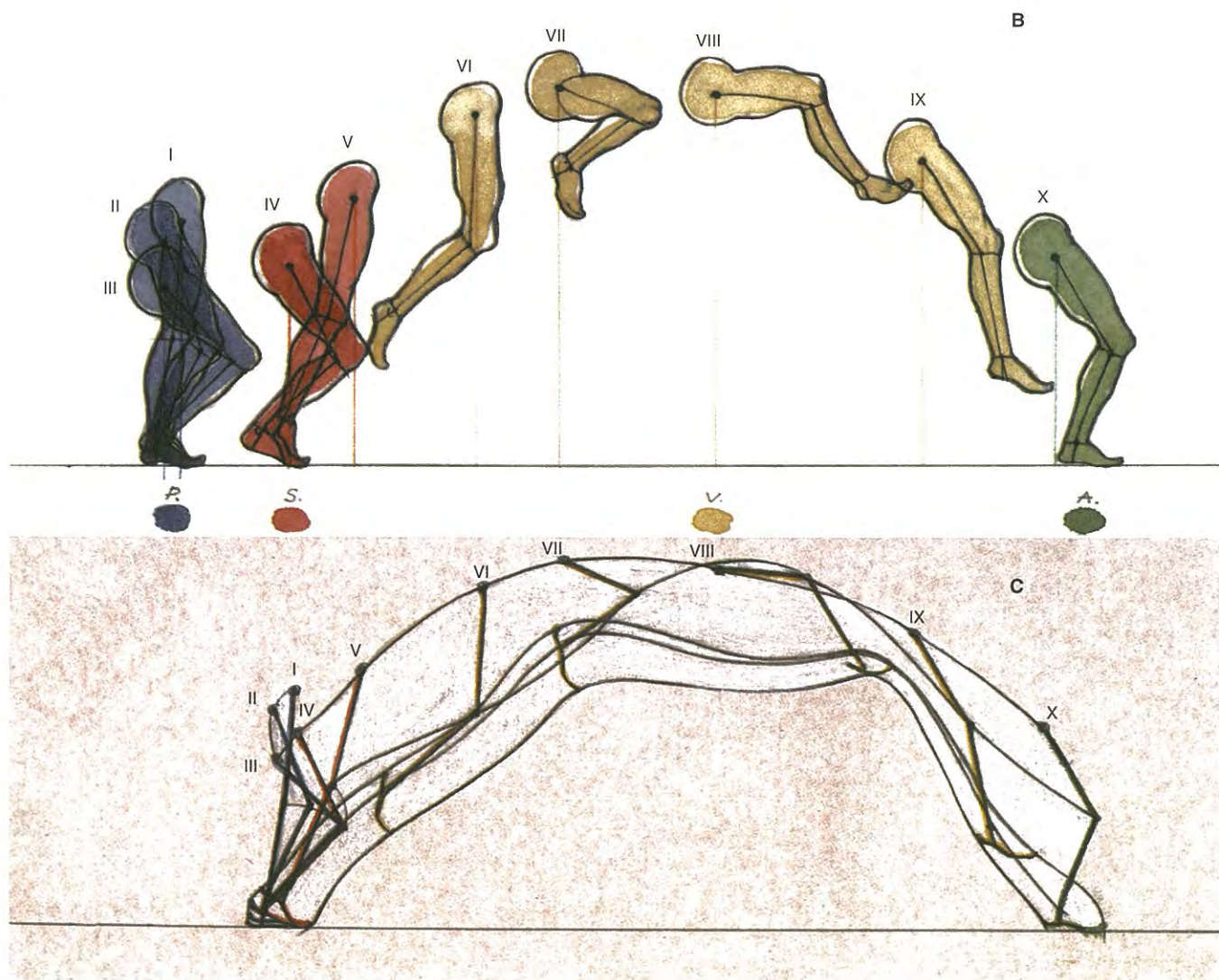
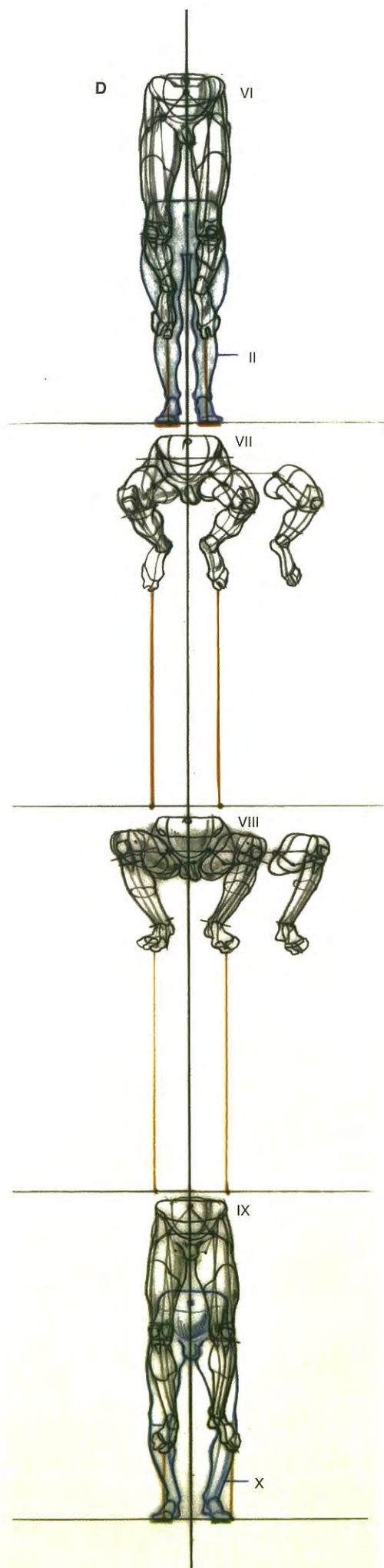
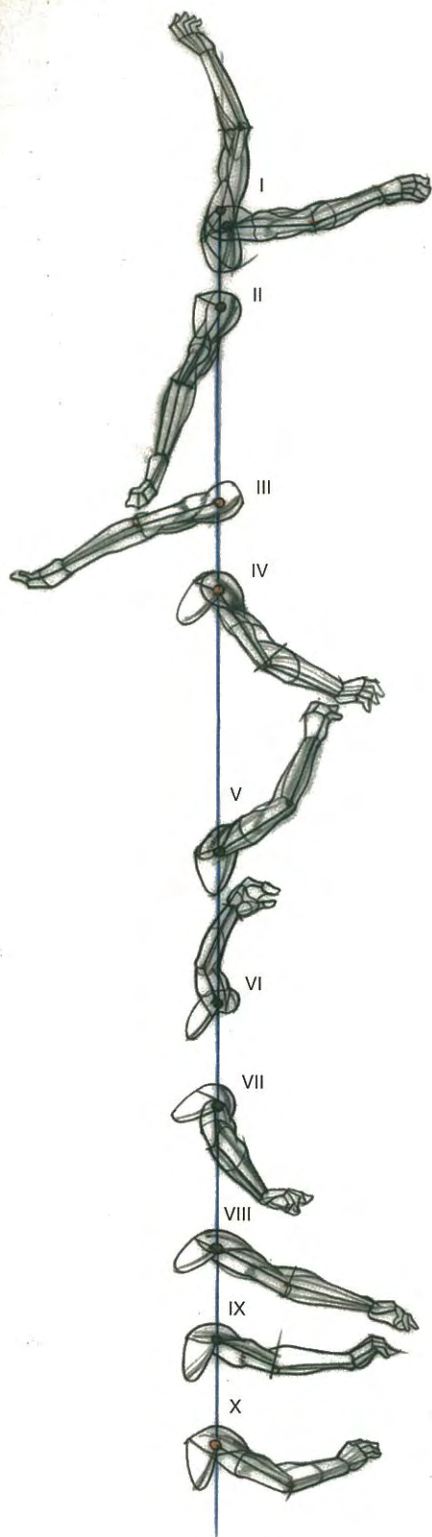
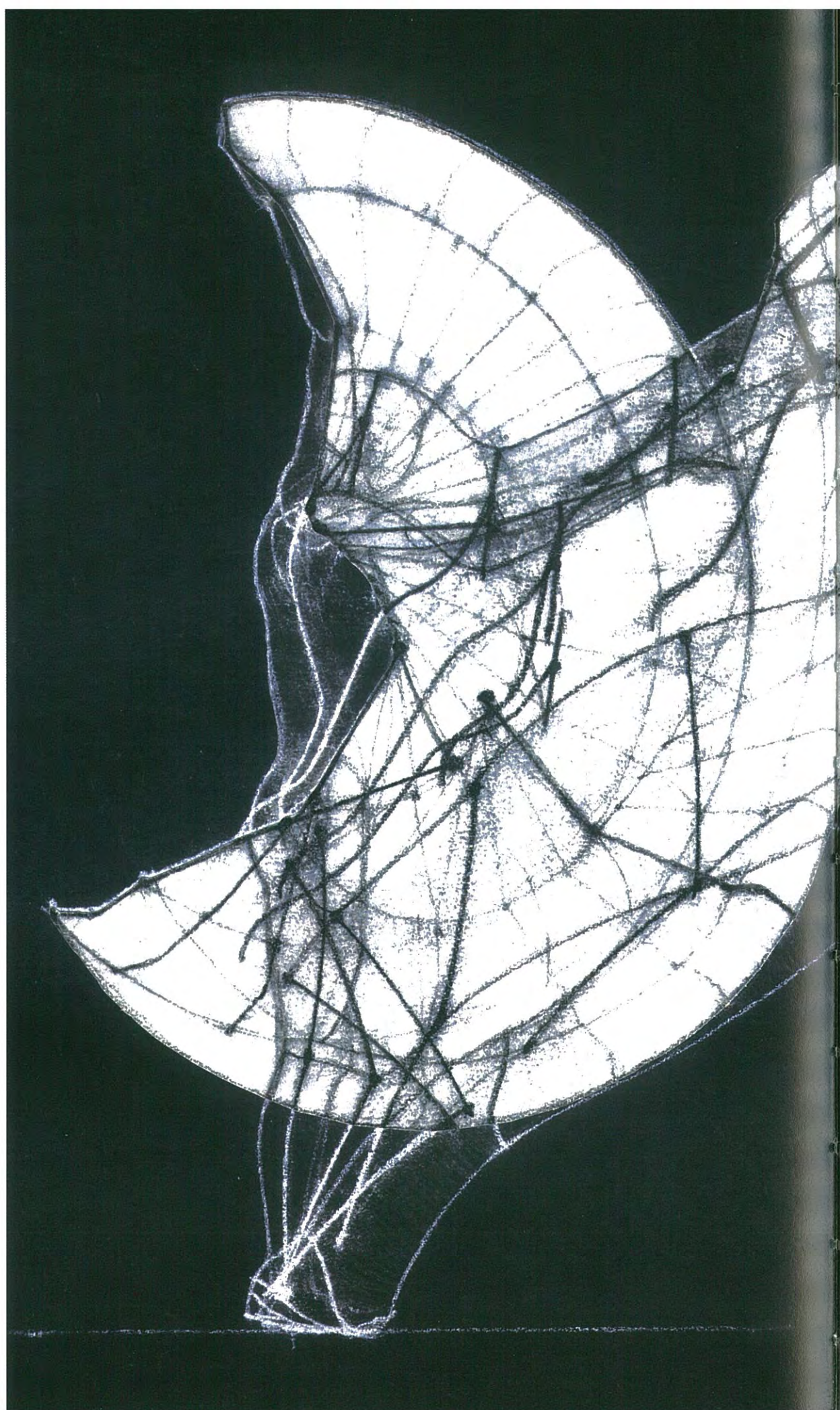
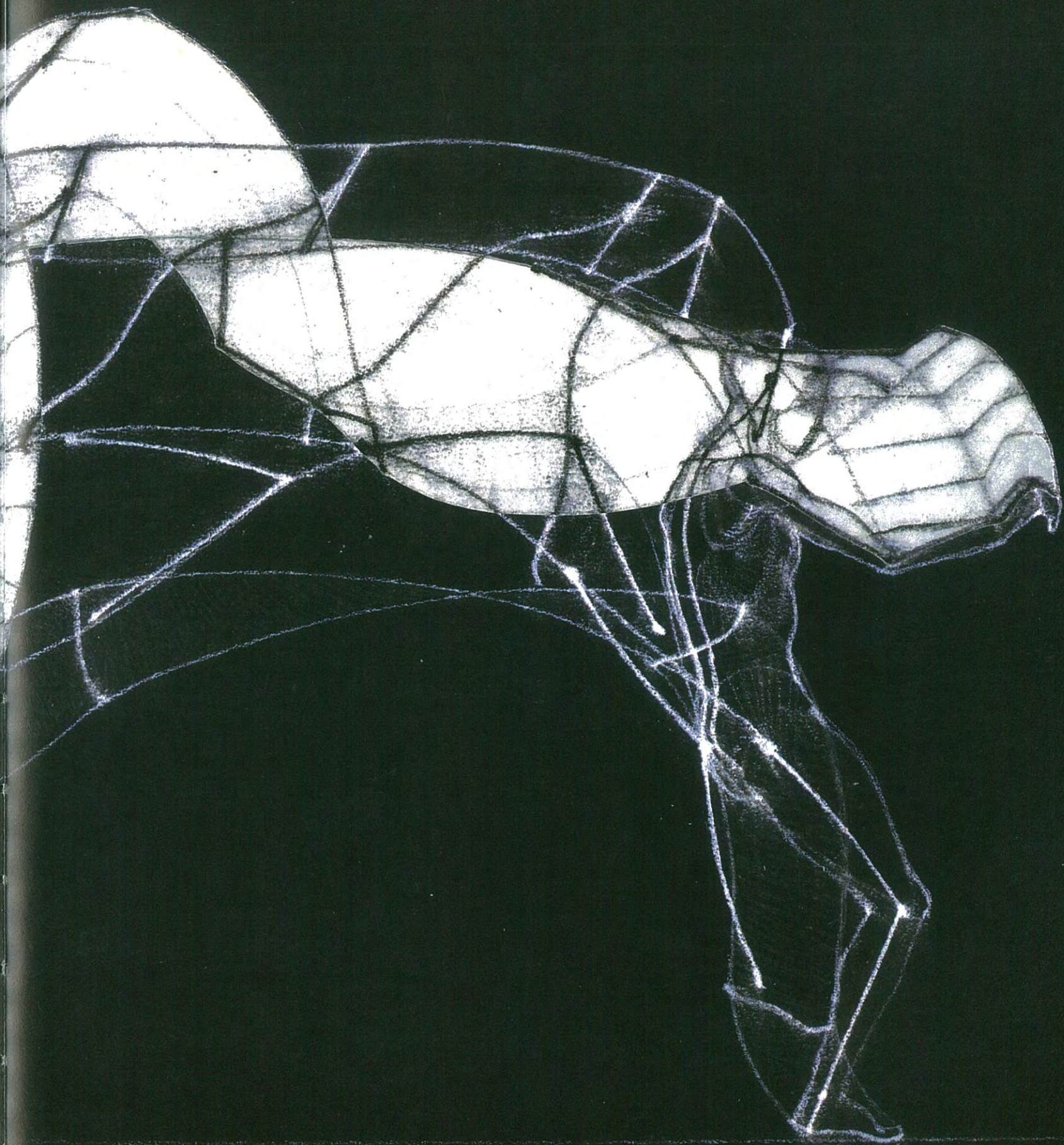
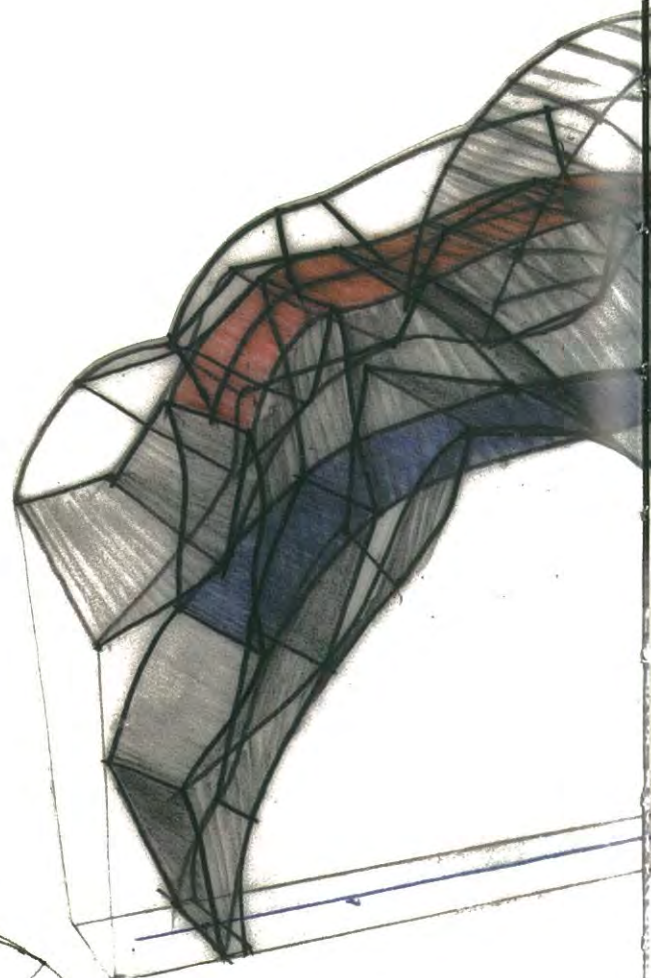
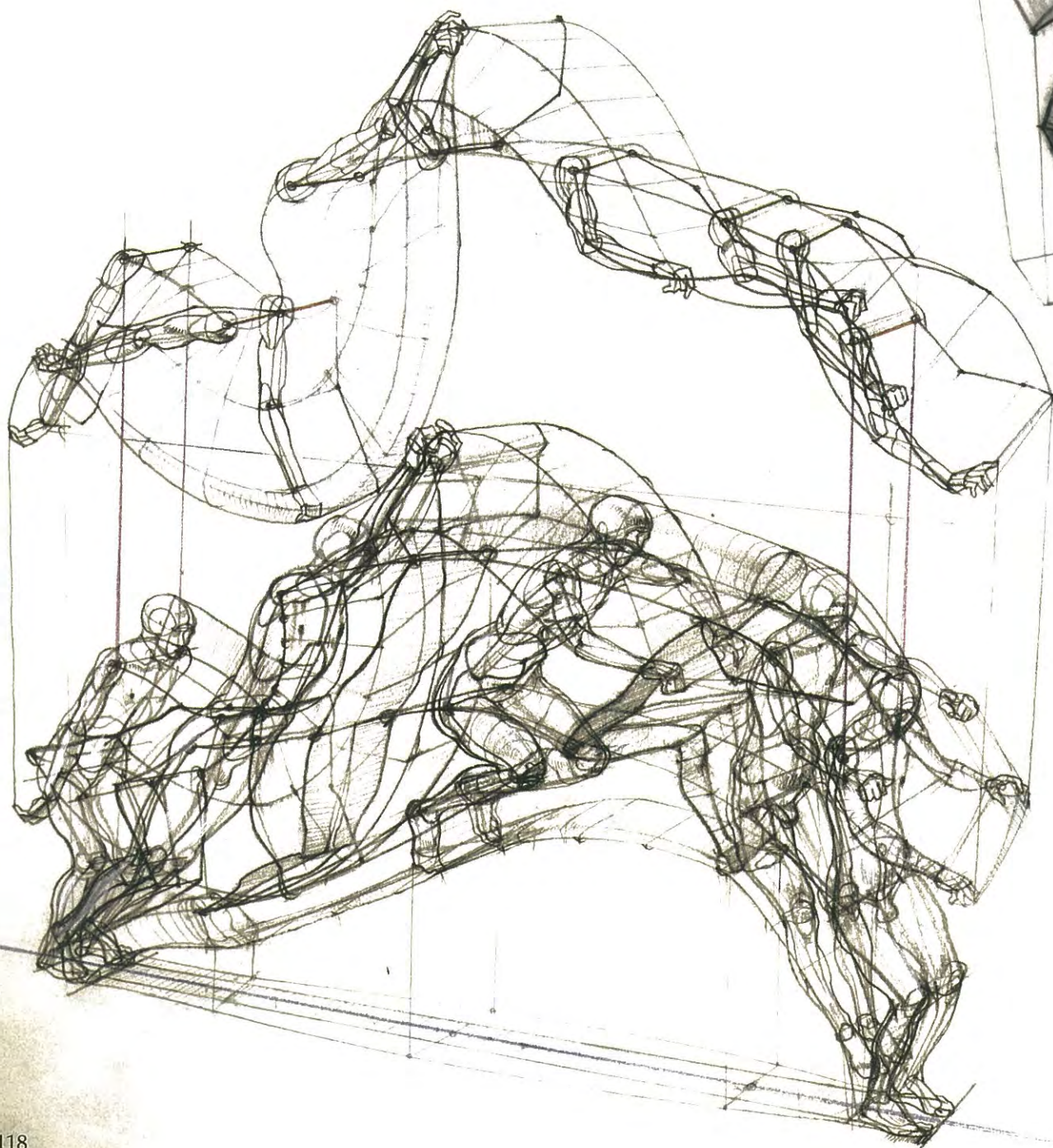
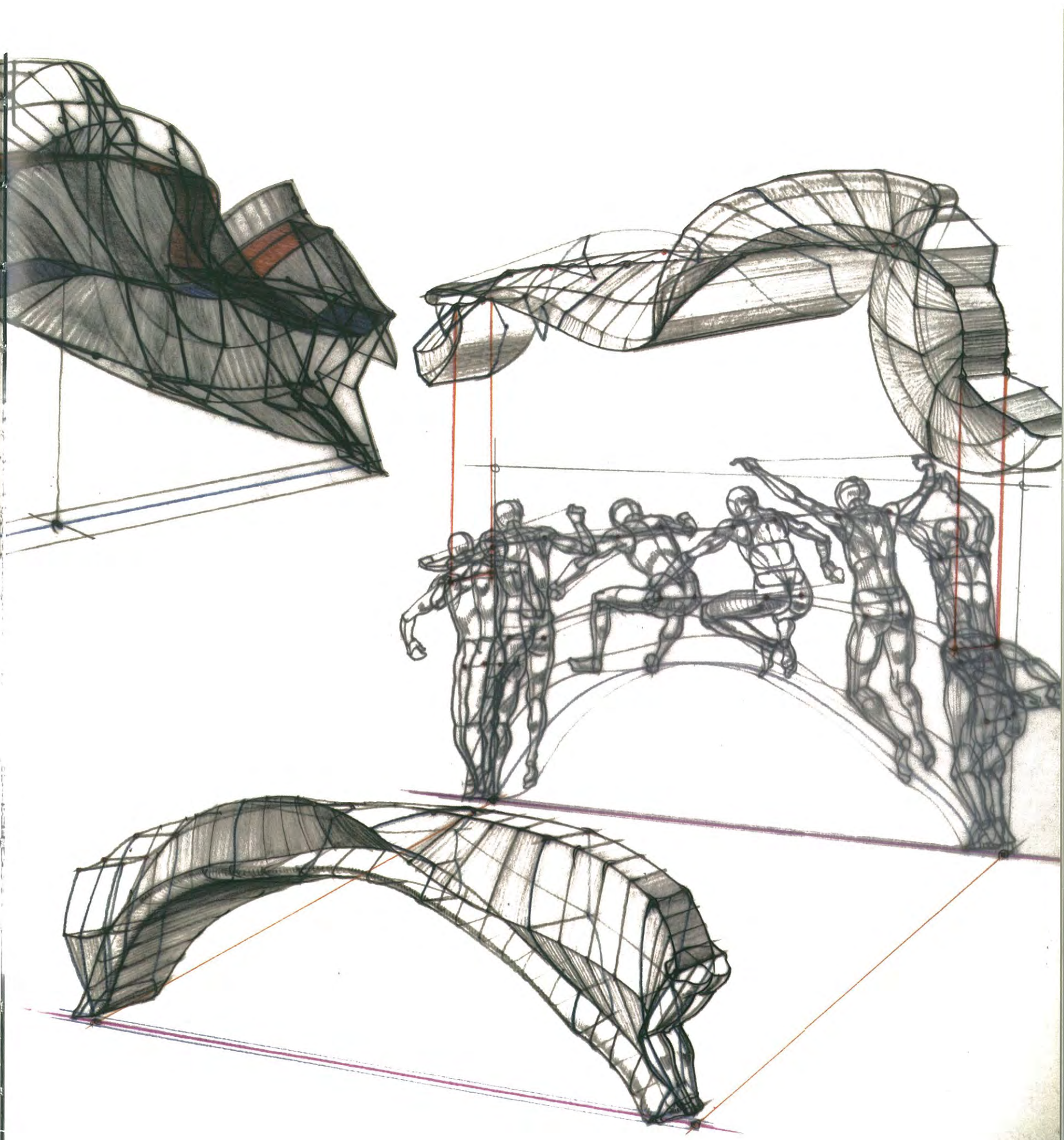
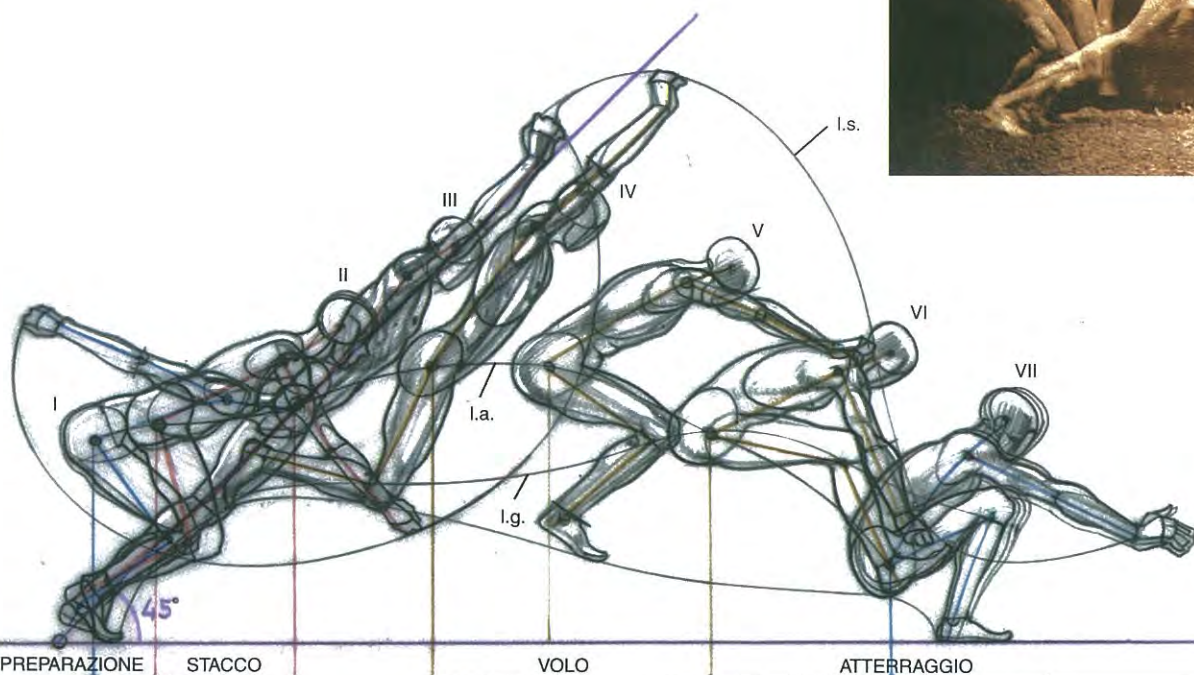
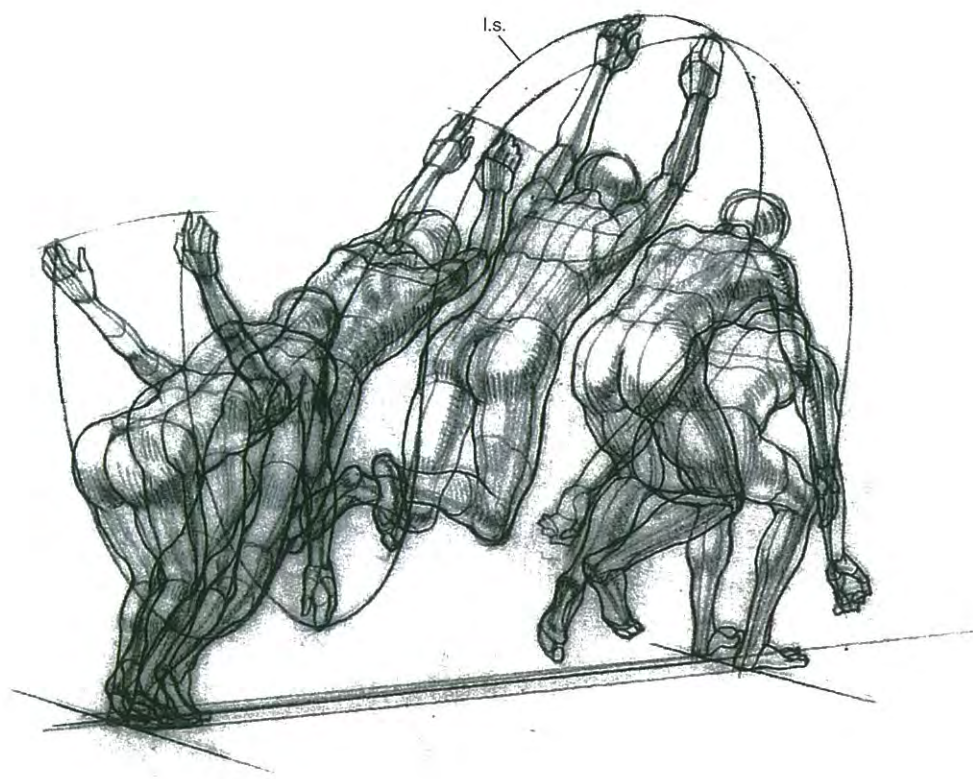
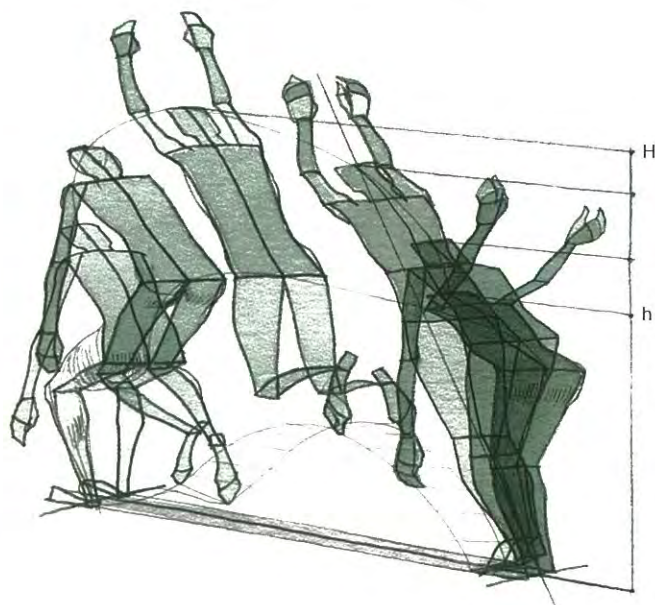
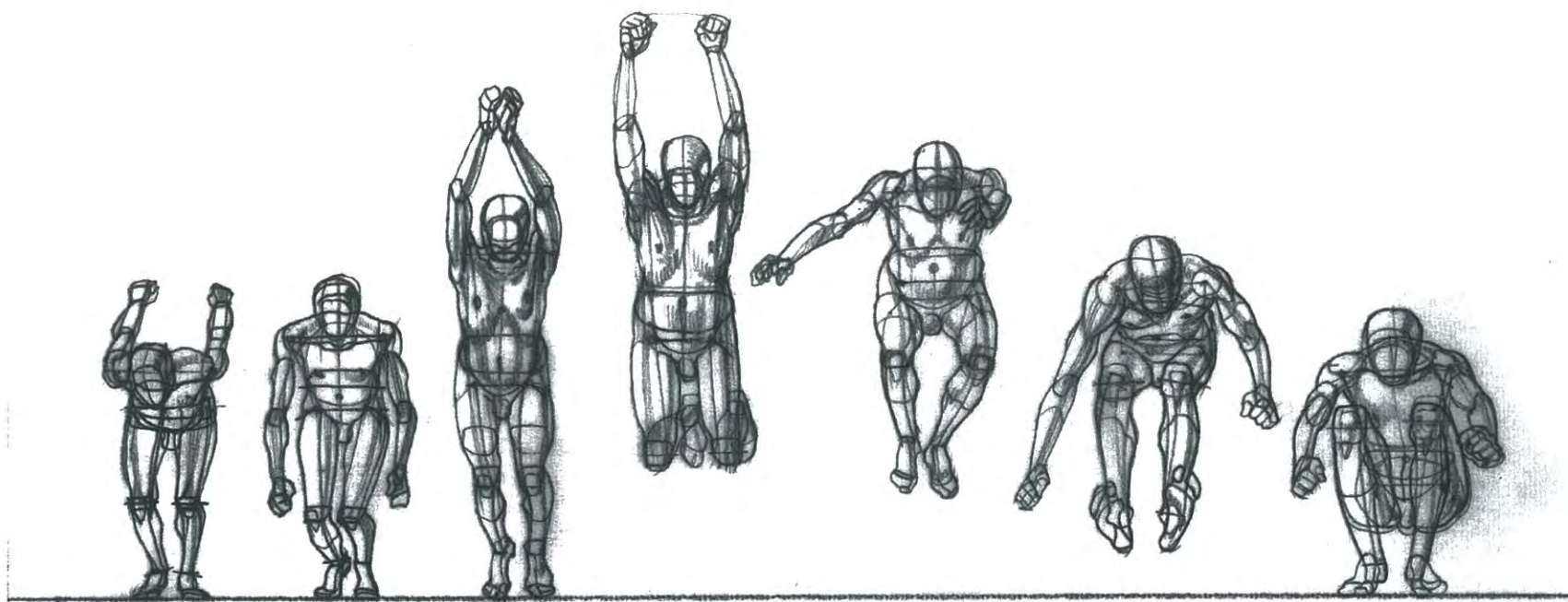



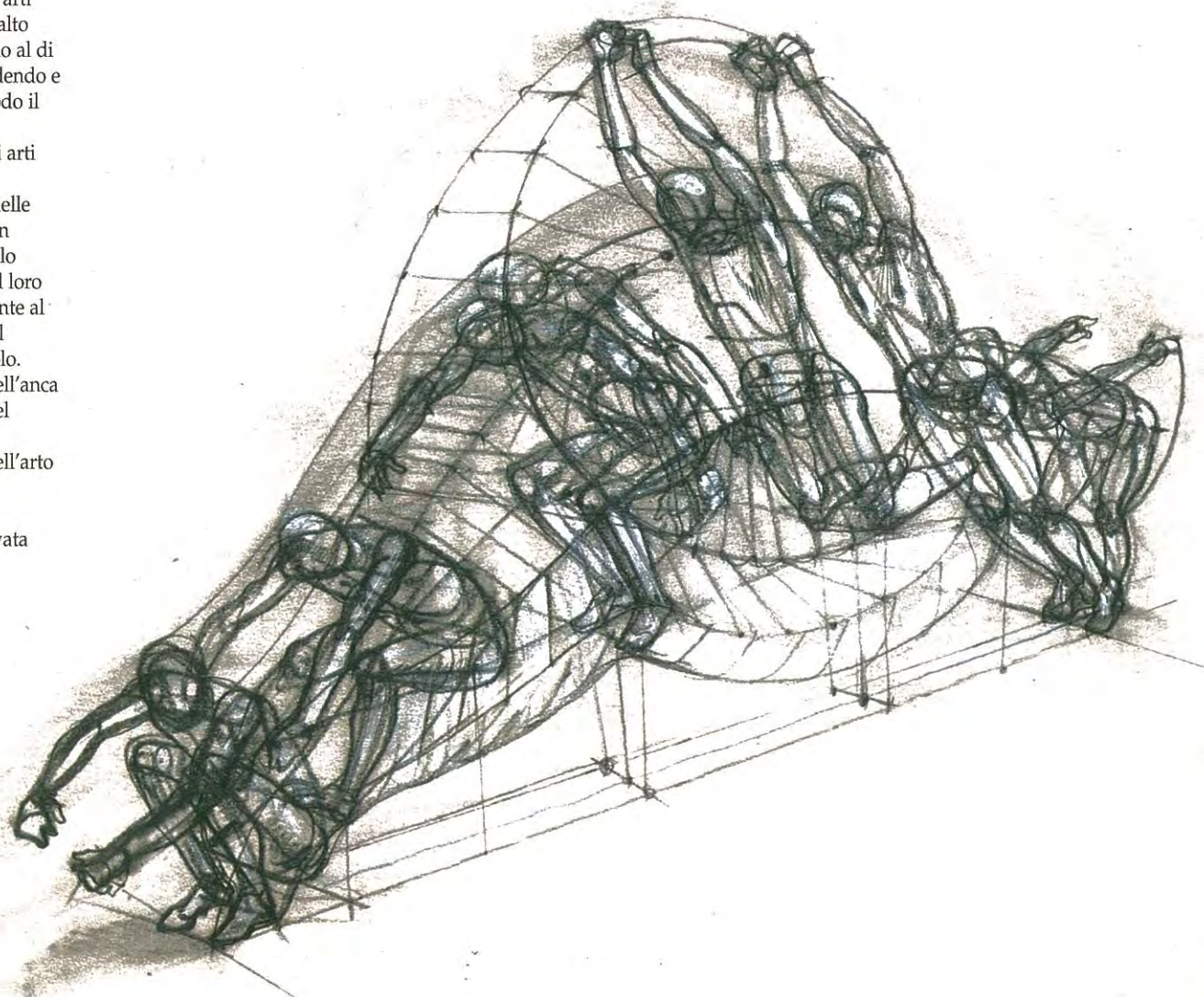
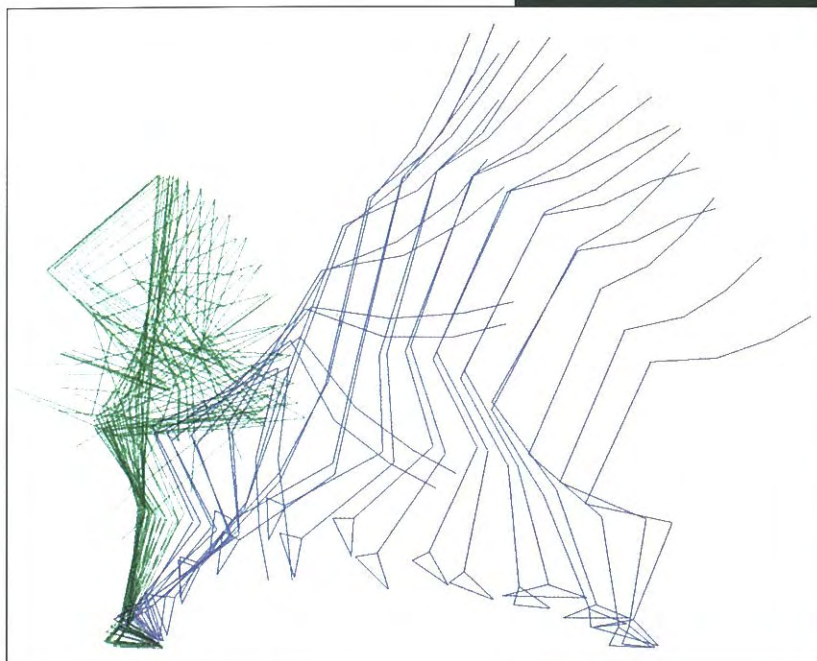
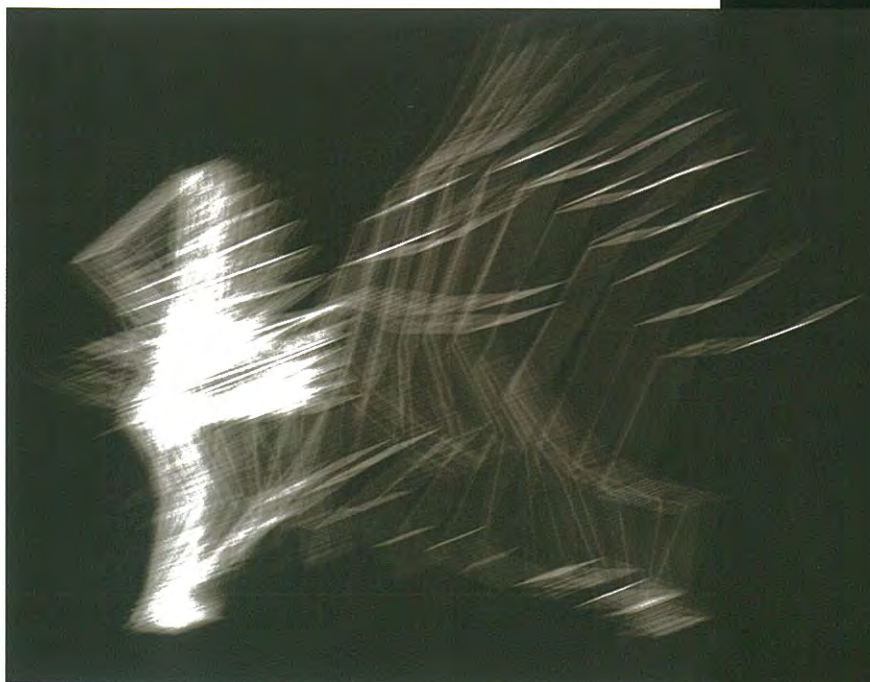
Fig. C
Diagramma del tracciato di traslazione ricavato dal movimento dei segmenti dell'arto inferiore.

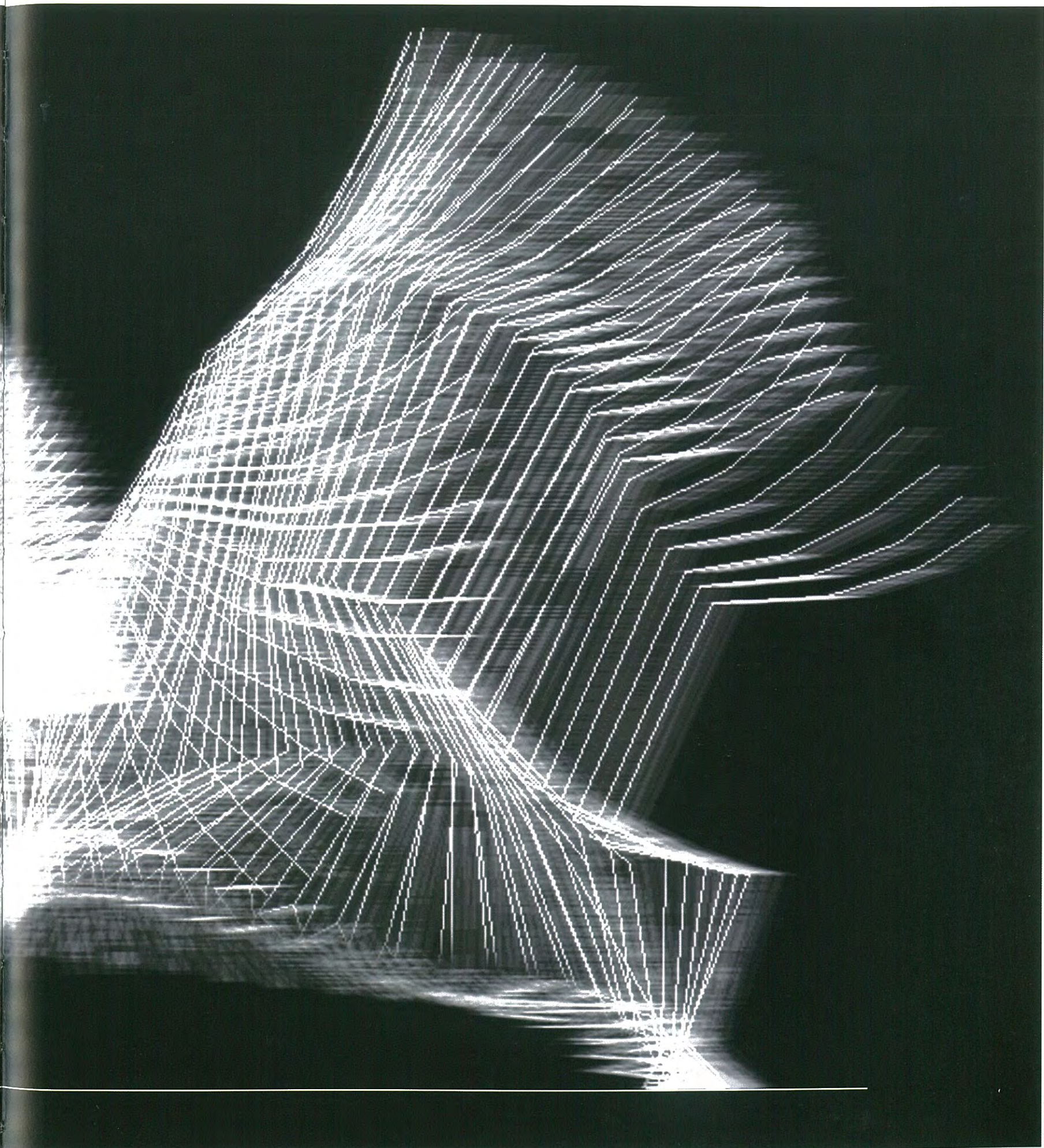
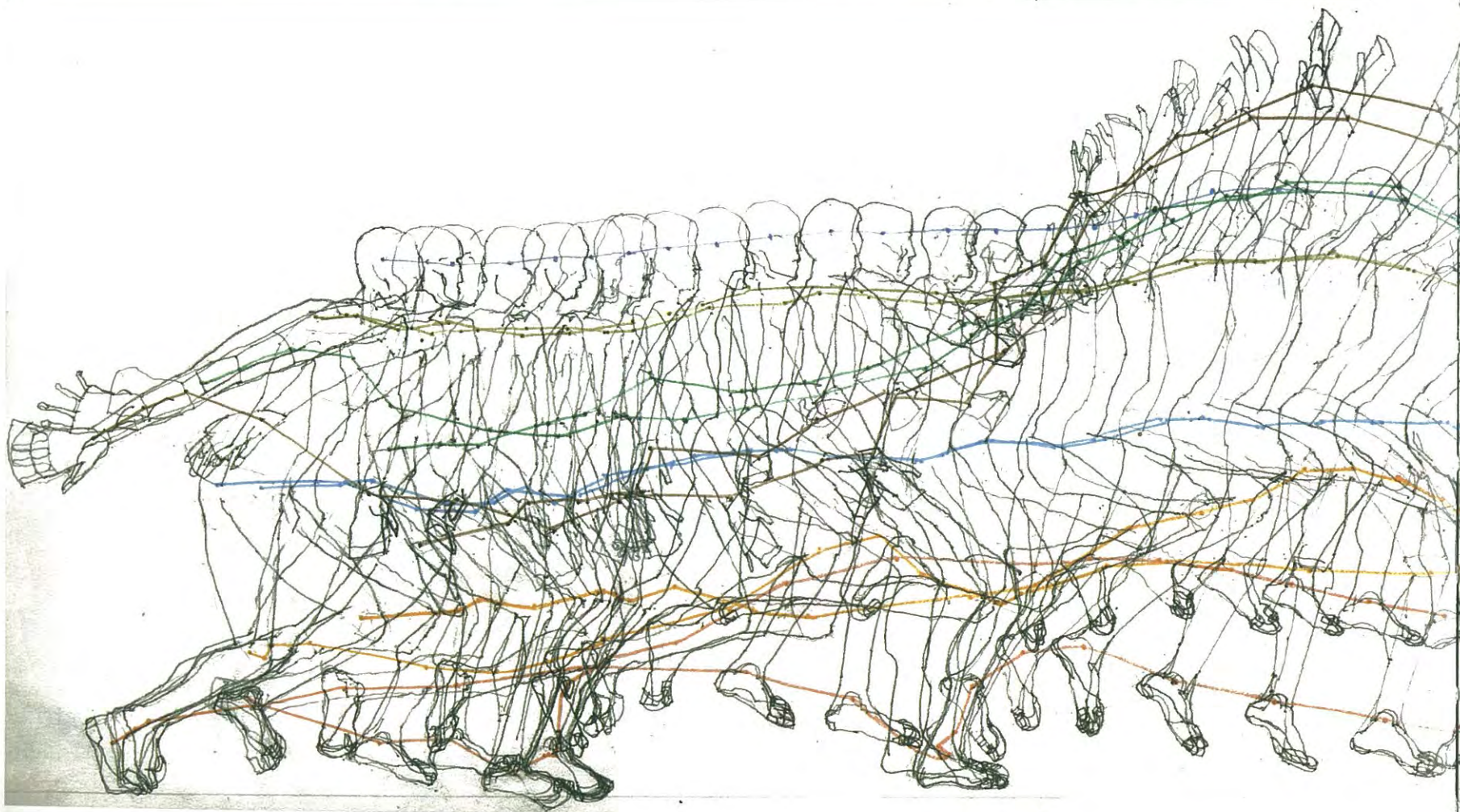
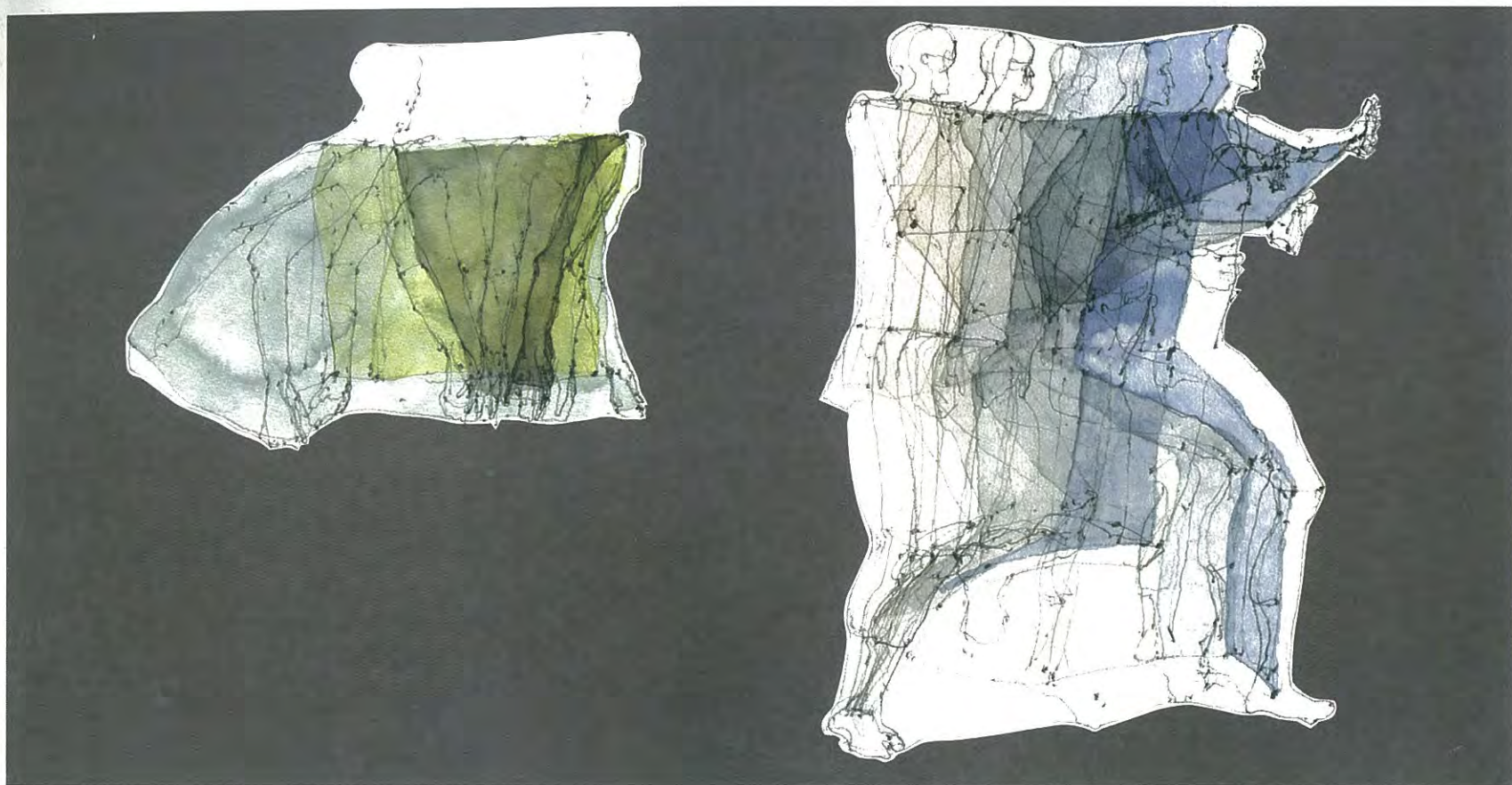
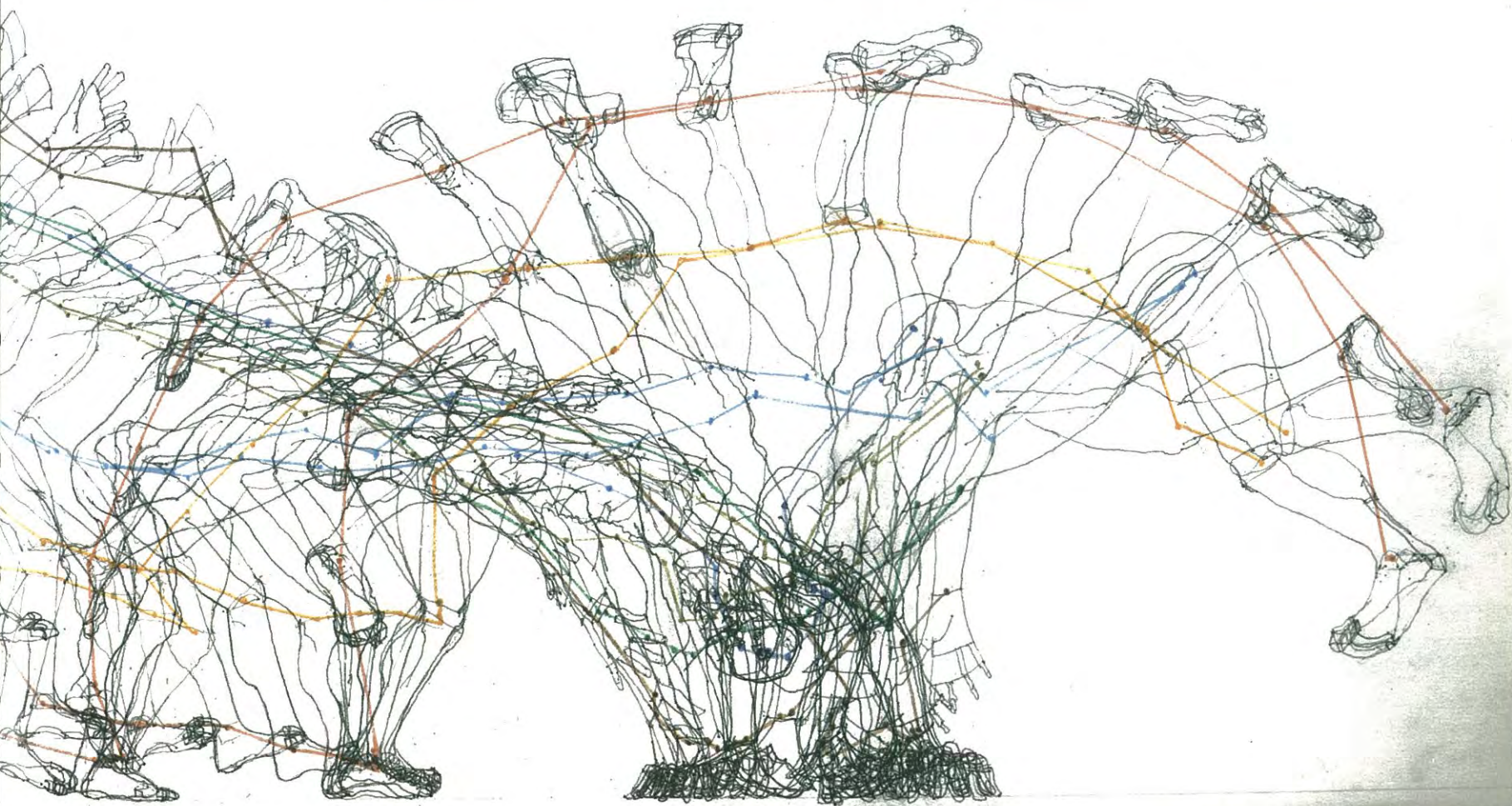
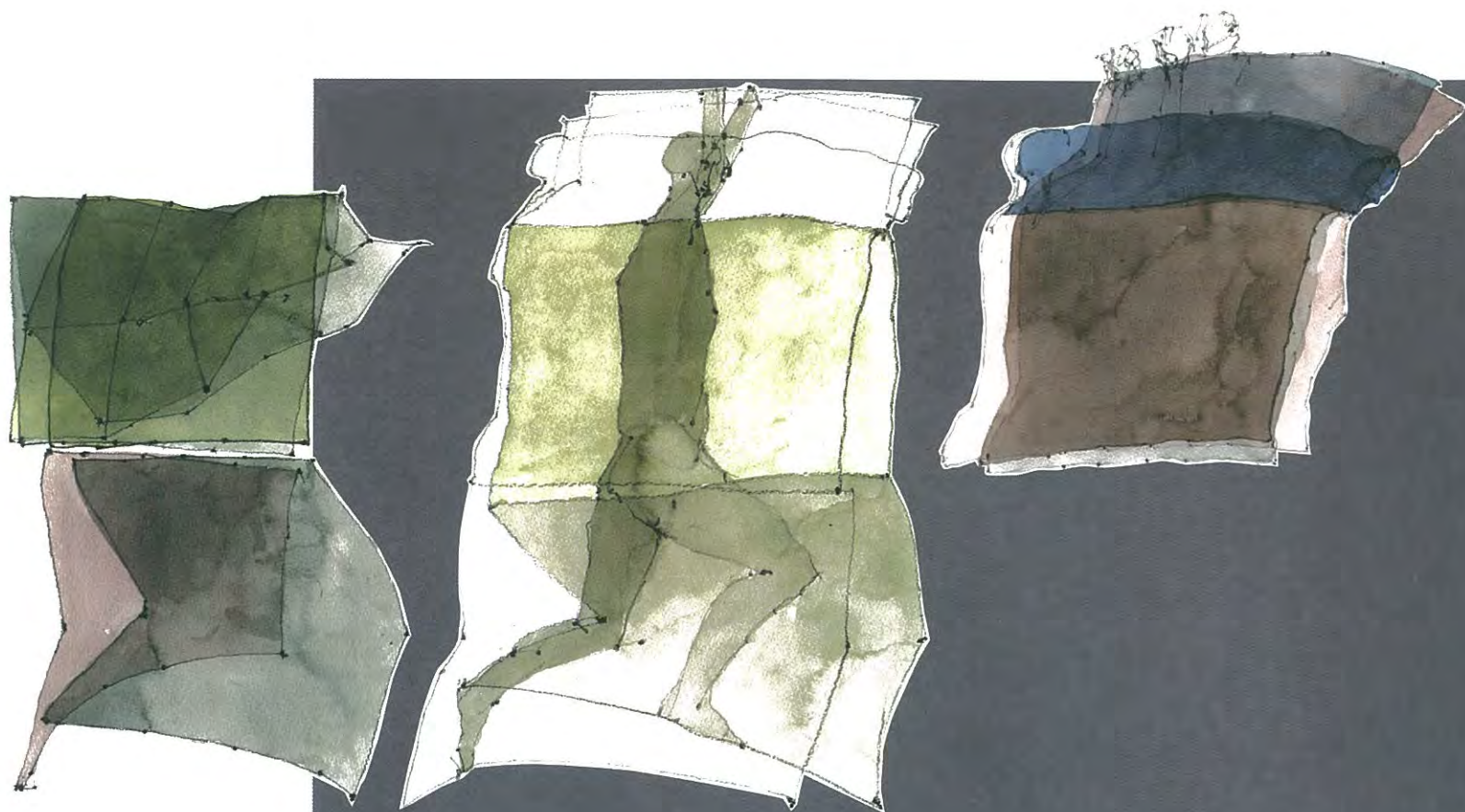
Fig. D
Visione frontale anteriore dell'arto inferiore.
Nel periodo di volo (Fasi VI, VII, VIII, IX) si osserva anche una graduale abduzione delle cosce e una rotazione mediale delle anche.
Questo movimento verrà poi a ridursi prima dell'atterraggio (Fase X).

Fig. E
Movimento dell'arto superiore e relativo tracciato di traslazione.
La separazione delle Fasi II, III, IV, V consente di distinguere la preparazione e lo stacco.
l. linea e piano mediano corrispondente alla direzione del salto
d. distanza dall'asse delle spalle al suolo
v. traiettoria mediana corrispondente al volo, allineata sul margine dei piedi

Dinamica dell'arto superiore nelle fasi di preparazione (I, II, III) stacco (IV, V) volo (VI, VII, VIII, IX) atterraggio (X).

Sviluppi volumetrici.
In blu: piano che indica la traiettoria di movimento delle anche
In rosso: piano delle spalle

SALTO IN LUNGO A PIEDI UNITI

T. Eakins, *Storia di un salto*, The Library Company of Philadelphia, 1884-85.

PREPARAZIONE STACCO VOLO ATTERRAGGIO

Nel salto in lungo con partenza a piedi uniti si può osservare come, dalla fase di preparazione allo stacco, sia necessario un movimento di flessione in avanti del tronco sulle anche.
Questo movimento permette al corpo di assumere, nella fase di stacco (Fase III), un'inclinazione rispetto al suolo di circa 45° che comporta un assetto di volo più obliquo e di conseguenza ottimale a superare una distanza in lunghezza.

In questo tipo di salto gli arti superiori – nel picco più alto della parabola – si elevano al di sopra della testa, sospendendo e trascinando in questo modo il tronco.
Contemporaneamente gli arti inferiori eseguono un movimento di flessione delle ginocchia e di rotazione in avanti che avviene a livello dell'anca; essa permette il loro avanzamento anteriormente al tronco, per predisporsi al nuovo contatto con il suolo.

l.a. linea di escursione dell'anca
l.g. linea di escursione del ginocchio
l.s. linea di escursione dell'arto superiore
h. altezza minima
H. altezza massima rilevata sulla testa

Le elaborazioni grafiche delle analisi quantitative dei movimenti del salto contenute in questa pagina si avvalgono dei rilevamenti ottenuti con i sistemi optoelettronici che registrano le coordinate spaziali di particolari oggetti detti marcatori mediante l'elaborazione in tempo reale delle immagini provenienti da un sistema di telecamere. I marcatori vengono disposti in determinati punti anatomici, significativi ai fini dell'analisi, in modo da poter essere rilevati. L'applicazione di algoritmi di stereofotogrammetria rende possibile il calcolo delle coordinate tridimensionali partendo dal dato 2D di almeno una coppia di telecamere opportunamente orientate e calibrate sul campo di ripresa. Nel nostro caso il sistema di rilevamento optoelettronico utilizzato è stato l'ELITE (Elaboratore di Immagini Televisive) sviluppato da Ferrigno e Pedotti al Centro di Bioingegneria di Milano.

Stick diagram del movimento del salto da fermo a piedi uniti.
Verde: fase di preparazione
Blu: fasi di stacco, volo e atterraggio

Visione latero-anteriore

Elaborazioni del sistema

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Per un approfondimento della materia trattata in questo libro, si possono consultare con profitto i seguenti testi:

G. Bammes
Die Gestalt des Menschen, VEB, Verlag der Kunst, Dresden 1991

Benninghoff-Goerttler
Trattato di anatomia umana funzionale, vol. I, Piccin, Padova 1978

S. Boccardi – A. Lissoni
Cinesiologia, voll. I, II, III, Universo, Roma 1984

W.T. Dempster
Free body diagrams as an approach to the mechanics of posture and motion.
In *Biomechanical Studies of the muscuoskeletal system*,
edited by F.G. Evans, Charles C Thomas, Springfield 1961

H. Edgerton
Moments of vision – The stroboscopic revolution in photography, M.I.T., Cambridge 1979

B. Gowitzke – M. Milner
Le basi scientifiche del movimento umano, Emsi, Roma 1984

I.A. Kapandji
Physiologie articulaire, voll. I, I, III, Maloine, Paris 1996

E.J. Marey
Le mouvement, G. Masson, Paris 1894

L. Monoly-Nagy
Vision in motion, P. Theobald au Compagny 1961

E. Muybridge
The human figure in motion, Dover, New York 1955

P. Richer
Physiologie artistique de l'homme en mouvement, O. Doin, Paris 1895

K. Tittel
Anatomia funzionale dell'uomo applicata all'educazione fisica e allo sport, Ermes, Milano 1987

R. Warwick – P.L. Williams
Anatomia del Gray, vol. I, Zanichelli, Bologna 1987

INDICE

INTRODUZIONE pag. 5

Lezione 1
L'equilibrio del corpo 6

I PARTE
L'AVANZAMENTO DEL CORPO
Lezione 2
Il passo 12
Principi generali
Lezione 3
Arto portante e arto oscillante 16
Lezione 4
Parametri del passo 20
Lezione 5
Scheletro e funzioni meccaniche del piede 26
Lezione 6
L'apparato muscolare intrinseco del piede 34
I muscoli brevi della regione dorsale
I muscoli brevi della regione plantare
Primo strato profondo
Secondo strato profondo
Strato medio
Strato superficiale
Lezione 7
Funzioni muscolari dell'arto inferiore nelle sequenze del passo 40
Fase I: doppio appoggio
Fase II: pieno appoggio
Fase III: pieno appoggio
Fase IV: pressione e spinta
Fase V: nuovo doppio appoggio
Fasi VI-VII: arto oscillante
Fase VIII: assestamento dell'arto oscillante
Fase IX: nuovo doppio appoggio
Riepilogo delle azioni muscolari nella scansione del passo, nella condizione di arto portante e oscillante
Lezione 8
Movimenti di oscillazione del corpo nelle fasi del passo 54
Lezione 9
Movimenti rotatori durante il passo 60
Movimenti rotatori del bacino e movimenti di torsione dell'arto inferiore
Torsione assiale del femore
Torsione assiale della tibia
Ricostruzione dell'arto inferiore
Movimenti rotatori delle spalle e movimento pendolare dell'arto superiore

II PARTE
DAL PASSO ALLA CORSA
Lezione 10
La corsa 76
Lezione 11
Fasi e misure della corsa 78
Slancio dell'arto inferiore destro, dalla Fase II alla Fase VI

III PARTE
DALLA CORSA AL SALTO
Lezione 12
Il salto 100
Salto in lungo a piedi alternati con rincorsa
Salto frontale in altezza a piedi alternati con superamento di un ostacolo
Salto in alto da fermo a piedi appaiati
Salto in lungo a piedi uniti